

Componentes eletrônicos: perspectivas para o Brasil

Paulo Roberto de Sousa Melo
Evaristo Carlos Silva Duarte Rios
Regina Maria Vinhais Gutierrez

<http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>

COMPONENTES ELETRÔNICOS: PERSPECTIVAS PARA O BRASIL

Paulo Roberto de Sousa Melo
Evaristo Carlos Silva Duarte Rios
Regina Maria Vinhais Gutierrez*

**Respectivamente, gerente e engenheiros da Gerência Setorial do Complexo Eletrônico do BNDES.*

Os autores agradecem a colaboração do físico André Hartz Coelho, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, pelo trabalho "O Processo de Manufatura do Semicondutor" (Anexo 1), do engenheiro Sergio Eduardo Silveira da Rosa, da estagiária de economia Morine Alves Fonseca e dos bibliotecários Arthur Adolfo Guarido Garbayo e Maria de Lourdes de Jesus, bem como da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee), da Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos (Eletros), da Fundação CPqD, do ITI e das empresas Aegis, AVX, Icotron, Itautec-Philco, Micro Multek, Motorola, Murata, Philips, Samsung e Semikron.

COMPLEXO ELETRÔNICO

Resumo

O artigo enfoca a evolução da indústria de componentes utilizados pelo chamado complexo eletrônico no Brasil, bem como busca efetuar um panorama da evolução de sua demanda internacional. É claro que limitações de acesso a dados e de tempo disponível para a realização do estudo não possibilitaram a exaustão do tema, cabendo ainda um estudo aprofundado, particularmente da evolução da oferta internacional, que julgamos deva ser identificada em função das principais empresas do setor e de seus programas de investimentos.

Sobressai do trabalho a importância crescente dos circuitos integrados, cada vez embutindo maior capacidade de armazenamento e/ou processamento de informações e que concentram o maior dinamismo tecnológico do setor, superando amplamente outras famílias de componentes, em termos do valor contido nos equipamentos eletrônicos em geral.

Como conclusão, fica patente a necessidade de atração, para o Brasil, de empresas fabricantes de componentes com atuação global, que possam não só suprir parcela significativa do mercado interno, mas também efetuar exportações significativas, de forma a atenuar os crescentes déficits da balança comercial do complexo eletrônico – certamente o problema principal da indústria eletrônica como um todo.

Introdução

A eletrônica vem assumindo crescente importância no mundo atual, estando presente na informática, nas telecomunicações, nos controles de processos industriais, na automação dos serviços bancários e comerciais e nos bens de consumo. Quanto a esses últimos, ela aparece não apenas nos tradicionais segmentos de áudio e vídeo, mas de forma disseminada entre os eletrodomésticos, cada vez mais “inteligentes”, e os automóveis. A título de curiosidade, um carro brasileiro popular possui, atualmente, um conteúdo eletrônico total da ordem de US\$ 700.

A indústria de bens eletrônicos brasileira é, via de regra, somente para montagem final. A dominação dos *kits* completos de componentes – importados – para montagem local é completa na informática e no consumo, sendo parcialmente verdadeira nas telecomunicações. Parece, aliás, haver uma associação entre a dominação dos *kits* e a padronização dos bens (a sua transformação em *commodities*), a qual, aos poucos, vai também avançando pelas telecomunicações, na esteira da convergência tecnológica entre telecomunicações, informática e consumo.

A importação maciça de componentes para essa indústria, que, salvo poucas exceções, atende exclusivamente ao mercado interno, gera um desequilíbrio na balança comercial da ordem de US\$ 6 bilhões anuais. Esse déficit não é conjuntural, pois não reflete um eventual aquecimento de demanda – no Brasil atual, apenas o segmento de consumo possui alta elasticidade em função da renda e, além disso, tem atravessado um difícil período de contenção de demanda. Por outro lado, restringir a demanda nos segmentos de informática e telecomunicações é condenar a economia brasileira a atrasos em sua busca por melhores índices de produtividade.

Esse enorme déficit tende a crescer, na medida em que cresce também a penetração da eletrônica na economia, fato irreversível no moderno mundo globalizado. A industrialização de bens finais no país é desejável, sob pena de aprofundamento ainda maior desse déficit, e tem sido fomentada pelo governo através da Lei de Informática e das ações diretas do Ministério do Desenvolvimento e do BNDES. Entretanto, isso não tem sido suficiente, pois a montagem final de produtos pouco agrega ao seu valor. Além disso, a miniaturização e o barateamento dos produtos eletrônicos só têm sido possíveis graças à crescente “integração” de circuitos e, até, de produtos inteiros em *chips* de silício – os circuitos integrados. Tem-

se, então, que a tecnologia dos produtos e, conseqüentemente, o seu valor caminham na direção dos componentes.

Verificando-se que o complexo eletrônico – assim chamado pela intensa sinergia entre seus vários segmentos – reúne os únicos setores de efetivo peso econômico cuja cadeia produtiva ainda não está efetivamente implantada no país, é fácil concluir-se pela necessidade da existência de uma forte indústria local de componentes. Entretanto, tal conclusão coloca o Brasil frente a uma decisão histórica – a formulação de uma nova política industrial.

Com todas as críticas que lhe possam ser feitas, a reserva de mercado para a informática foi uma das duas únicas grandes iniciativas de política industrial brasileira para o setor de eletrônica, e assim mesmo parcial, na medida em que a indústria de consumo localizada na Zona Franca de Manaus sempre esteve ao largo das suas decisões. Apesar da desastrada restrição aos investimentos estrangeiros para a fabricação de componentes eletrônicos no país, sem conseguir consolidar a presença nacional em seu lugar, a reserva de mercado, sem sombra de dúvidas, promoveu o desenvolvimento da indústria de computadores – fabricação e projeto. Pode-se dizer que o conhecimento da nova tecnologia efetivamente floresceu nas empresas.

A outra grande ação de política industrial foi realizada pela Telebrás, que fomentou o desenvolvimento de tecnologia aplicada às telecomunicações em seu Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CPqD), ao mesmo tempo em que promovia o crescimento das indústrias fornecedoras de equipamentos, materiais e serviços. São inúmeros os exemplos bem-sucedidos de produtos entregues à população brasileira no desenvolvimento do serviço de telefonia. Podem ser considerados ícones desse sucesso o telefone público a cartão indutivo – solução original, barata e perfeitamente adequada ao contexto inflacionário brasileiro e à fácil exposição dos aparelhos ao roubo – e as centrais de comutação Trópico – modernas, baratas, resistentes às condições climáticas adversas em todo o território nacional e facilmente adaptáveis à evolução da tecnologia como a Voz sobre IP.

A década de 90 assistiu ao final da reserva de mercado em um cenário de abertura indiscriminada e abrupta ao comércio externo, sem qualquer preocupação quanto à preservação do acervo de conhecimento nas empresas fabricantes. Na mesma década procedeu-se também à privatização do Sistema Telebrás, na qual, em que pese a preservação do CPqD enquanto fundação de direito privado, pouca atenção foi dada à tecnologia brasileira, nas operadoras e nas fornecedoras. Esses fatos refletiram-se diretamente sobre o número de empregos na indústria ligada aos segmentos de informática e de telecomunicações, que, segundo estudo do professor Marcio Pochmann, da Unicamp, diminuíram, entre 1989 e 1999, 48,1% e 54,5%,

respectivamente. É claro que houve mudança nos processos produtivos, que são hoje muito mais automatizados, mas, sabendo-se do crescimento da produção no mesmo período – os investimentos fixos mais que triplicaram –, facilmente verifica-se que foram as atividades ligadas à inovação e ao projeto as grandes vítimas desse processo. Em outras palavras, foram eliminados postos de trabalho, majoritariamente o trabalho altamente qualificado, como será visto nas seções seguintes.

O mesmo esvaziamento tecnológico atingiu também a eletrônica de consumo brasileira, embora por diferentes motivos. O modelo de benefícios à importação de partes para atendimento à demanda interna, um elevado número de competidores em um mercado sujeito a grandes flutuações, juntamente com a mencionada abertura comercial do início dos anos 90, tiveram sobre a indústria da Zona Franca de Manaus um efeito semelhante ao verificado no resto do país.

Assim, ao falar-se de uma nova política industrial para a eletrônica brasileira é preciso ter em mente o adensamento da cadeia produtiva, através da fabricação local de componentes diversos, como também o adensamento tecnológico dessa mesma cadeia. É preciso investir em mão-de-obra qualificada, o que se traduz em formação de recursos humanos nas universidades e valorização de centros de pesquisa.

Partindo-se apenas da análise da balança comercial, sempre surge uma pergunta sobre a possibilidade de a nossa demanda por componentes eletrônicos poder ser financiada pela exportação de outro tipo de produto para o qual, talvez, o Brasil tivesse uma natural vocação de produtor. Cabe, então, observar que os níveis crescentes de disseminação da eletrônica pelos variados setores da atividade humana dificilmente poderão ser sustentados pela produção de bens com grau inferior de sofisticação à dos modernos componentes eletrônicos. A pergunta, então, passa a ser outra: que tipo de projeto de país seria desejável? Nesse aspecto, parece haver consenso na busca para se tornar uma nação inserida no contexto econômico mundial, que importa todo o necessário de forma equilibrada, domina as tecnologias que lhe interessam, produz competitivamente e exporta não somente o excedente.

A eletrônica trata do movimento de cargas elétricas num gás, vácuo ou semicondutor. O termo vem de “elétron”, designação dada por Lorentz, em 1895, para ondas eletromagnéticas que se propagavam no espaço como cargas discretas, fato comprovado experimentalmente por Thompson, em 1897. Nesse mesmo ano, Braun construía o primeiro tubo de vácuo (mais conhecido como válvula), antecessor do tubo de raios catódicos, que daria origem

Caracterização Técnica

posteriormente aos cinescópios (tubos de imagem), utilizados em televisores. Dessa forma, costuma-se dividir a indústria eletrônica, aproximadamente, em dois períodos: do início do século 20 até 1948, quando eram utilizados os dispositivos denominados válvulas; e a partir desse ano, quando apareceram seus substitutos, os transistores.

A invenção do tubo de vácuo (ou válvula) é creditada a Fleming, que, em 1904, concebeu um dispositivo de dois elementos, denominado *diodo*, formado por um fio metálico (filamento) próximo de uma placa, também metálica. O filamento, quando aquecido, emitia elétrons que se dirigiam para a placa, de modo que essa constituía um anodo, enquanto o primeiro assumia o papel de catodo, sendo a estrutura encapsulada em um tubo de vidro onde era feito o vácuo. Ao se aplicar tensão positiva entre anodo e catodo, haveria geração de corrente elétrica e, inversamente, ou seja, sob tensão negativa, essa mesma corrente era extinta, o que redundava em fluxo unidirecional de eletricidade. Assim, a primeira aplicação prática da válvula foi sua utilização como detector de sinais transmitidos sem fio, ou seja, ondas de rádio. Em 1906, Pickard propôs uma válvula de silício, material semicondutor que, no entanto, apresentou mau desempenho, em virtude da impossibilidade de se construir um contato elétrico eficiente naquele momento – ressalte-se, entretanto, que anos mais tarde foi retomado o semicondutor a silício com sucesso, como veremos mais adiante.

A primeira evolução da válvula (De Forest, 1906) foi o *triodo*, dispositivo baseado na inclusão de um terceiro eletrodo – entre a placa e o filamento – na estrutura de diodo anteriormente descrita. Esse terceiro elemento funcionava como chave de controle e, na medida em que a característica de fluxo unidirecional de corrente elétrica era mantida, uma de suas primeiras aplicações foi o uso como amplificador de sinais, o que significou a invenção de um dos primeiros componentes eletrônicos. Esse princípio de fonte externa, decorrente da existência de uma chave de comutação ou controle, é utilizado em circuitos amplificadores até hoje.

Em 1911, em função de aperfeiçoamentos tecnológicos (vácuo mais eficiente e utilização de filamento revestido com filme de óxido), o desempenho do triodo melhorou significativamente, o que viabilizou tanto a telefonia por cabo – principalmente a de longa distância – como a comunicação por rádio. Com a continuidade do desenvolvimento nas tecnologias de fabricação de válvulas (ou tubos), creditado às empresas de telefonia, iniciou-se, em 1920, a radiodifusão comercial (Westinghouse Electric Corporation). Mais tarde, em 1930, surgiu o primeiro receptor de sinais de TV, baseado no primeiro cinescópio, desenvolvido por Zworykin. Além do triodo, dito componente ativo, em virtude de permitir a comutação de corrente elétrica através de chave ou interruptor, existem os componentes passivos, nos quais as cargas elétricas podem fluir tanto no

sentido catodo-anodo como inversamente, sem que haja amplificação ou comutação. Destacam-se nessa última classe de elementos as resistências, os condensadores (ou capacitores), as bobinas (ou indutores) e os transformadores.

Para suporte desses diversos componentes, era usada, inicialmente, uma estrutura rígida (chassis). Posteriormente, foi concebida uma estrutura que, além do suporte dos componentes, realizava a ligação elétrica entre diversos componentes através de trilhas metálicas impressas no seu substrato: era a placa de circuito impresso (PCI), que até o advento dos circuitos integrados (CIs) concentrava boa parte da tecnologia do setor.

Apesar do grande impulso que as válvulas deram à indústria eletrônica, notadamente à de telecomunicações, esses elementos possuíam limitações operacionais, em função do alto consumo de energia elétrica (mesmo fora de uso) e da fragilidade do filamento, que fundia e ensejava sua troca com frequência. Assim, em 1945, formou-se um grupo multidisciplinar (físicos, químicos e engenheiros elétricos) no ambiente do Bell Laboratories, objetivando o desenvolvimento de um amplificador de estado sólido e a eliminação dos inconvenientes das válvulas. Em dezembro de 1947, o grupo conseguiu reproduzir efeito similar àquele observado no diodo (fluxo unidirecional de cargas) através da seguinte experiência: tomaram-se dois fios de ouro e uma peça de germânio¹ (placa) e, ao se aproximarem as extremidades dos primeiros da placa, foi detectada uma diferença de potencial elétrico entre os mesmos, o que comprovava um fluxo de cargas elétricas. Embora o experimento tenha sido bem-sucedido, o “amplificador”, denominado *transistor*,² possuía desempenho insuficiente, em função do baixo ganho e do alto ruído, o que levou o líder do grupo do Bell Laboratories (Shockley) a propor um transistor de junção, dito bipolar por haver portadores de carga negativa (elétrons) e positiva (lacunas). Ressalte-se que esse mesmo pesquisador previu a possibilidade de se obterem elevadas correntes através de baixas tensões aplicadas entre os fios ou contatos elétricos do transistor. Assim, a descoberta do transistor de junção bipolar marca a segunda fase da indústria eletrônica, iniciada em 1948.

Foi constatado, logo no início, que as propriedades elétricas dos transistores (semicondutores) estavam intimamente ligadas à dosagem e ao controle de impurezas na matriz cristalina do semicondutor, da ordem de 1 átomo de impureza por 100 milhões de átomos de germânio, os quais passaram a ser denominados *dopantes*.

A American Telephone and Telegraph (AT&T) iniciou, em 1951 a produção em escala comercial de transistores, decidindo **não** patentear-los. Em seguida, surgiram outros *players*, destacando-se a também norte-americana Texas Instruments, que propôs a utilização

¹ Material semicondutor.

² A palavra originou-se da contração de *transfer* e *resistor*, ou *resistência de transferência*.

do silício, cujo limite de operação atingia 200°C, sensivelmente superior ao do germânio, de 75°C. Dessa forma, os transistores passaram a ser fabricados a partir do silício, o que se verifica até os dias atuais.

No final da década de 50 surgiu o conceito de transistor plano, que deu origem, no início da década seguinte, ao conceito de CIs, que consiste em combinar no mesmo substrato de silício, conhecido como *pastilha*, diversos dispositivos ou componentes, sejam passivos (resistências, capacitores etc.) ou ativos (transistores, por exemplo). Esse tipo de integração favoreceu bastante o progresso da indústria eletrônica, na medida em que viabilizou a miniaturização e, conseqüentemente, a microeletrônica, além de reduzir os custos de produção dos componentes.

Para a sua fabricação são utilizados materiais dielétricos (ou isolantes), tipicamente um laminado, que pode ser do tipo aglomerado de papel e resina, ou ainda fibra de vidro, que pode ser utilizada em configurações de múltiplas camadas, ou *multilayer*. Hoje, a PCI possui ainda as duas funções: servir de substrato para a montagem dos componentes do circuito (resistores, indutores, CIs, transistores etc.) e viabilizar o contato elétrico entre os mesmos, o que é feito com a impressão de trilhas de cobre na placa – material metálico que apresenta elevada condutividade.

Um dos primeiros critérios de classificação dos componentes eletrônicos baseou-se na complexidade de sua estrutura interna, ou melhor, em seu nível de integração: discretos ou integrados. Os primeiros possuem estrutura bastante simples, sendo capazes de executar uma única função (resistores, capacitores, indutores, diodos e transistores), e, muito embora sua importância econômica seja decrescente em termos relativos, estão presentes em todos os produtos eletrônicos. Contrastando com os discretos, os Integrados desempenham múltiplas funções, contando para isso com diversos componentes internos, similares aos discretos, que atuam harmonicamente. Do ponto de vista do bem final, cada circuito integrado deve ser considerado um componente individual, por ser produzido e comercializado dessa forma.

O papel fundamental dos circuitos integrados no desenvolvimento do complexo eletrônico decorre da miniaturização, na medida em que esse processo é viabilizado pela fabricação de circuitos com até dezenas de milhões de funções, o que implica uma integração em larga escala.

Outra classificação para os componentes eletrônicos, particularmente os CIs, é quanto à natureza do processamento, podendo os dispositivos ser analógicos (lineares) e digitais. Enquanto o sinal, após ser processado pelo componente analógico, se comporta de forma contínua, podendo assumir uma infinidade de valores, os digitais exibem comportamento diferenciado, pois o sinal processado

é descontínuo, podendo assumir somente dois valores: 0 ou 1. Essa propriedade permite a codificação de todo e qualquer sinal, formando a base da maior parte da eletrônica moderna.

Outra classificação engloba uma série de dispositivos frequentemente considerados como componentes eletrônicos, entre os quais podemos citar os tubos de raios catódicos (cinescópios para monitores de vídeo e televisores) e os transformadores. Tal prática é justificada pelo fato de a indústria utilizar diversos dispositivos que, embora não sendo componentes eletrônicos em sentido estrito, possuem muita afinidade com eles, nos aspectos técnicos e produtivo. Outros itens são também classificados, geralmente, como componentes:

- *optoeletrônicos*: transformam sinais elétricos em luminosos, ou vice-versa, tendo importância decisiva nos modernos sistemas de telecomunicações em face da eficiência na transmissão de dados por fibras ópticas;
- *semicondutores de potência*: fazem parte dos controles em sistemas de transmissão de energia, motores elétricos e semelhantes, podendo ser comparados a componentes discretos; e
- *circuitos híbridos*: obtidos pela deposição de materiais apropriados sobre placas cerâmicas, para formar tanto trilhas metálicas como componentes de um circuito completo, características que fazem com que esses dispositivos sejam considerados uma espécie de estágio intermediário entre as placas de circuito impresso e os circuitos integrados.

Os semicondutores, onde estão inseridos os CIs, dispositivos de larga utilização e importância econômica, são classificados por seus fabricantes de duas formas: em função da tecnologia e em função da estrutura do mercado. No que diz respeito à primeira delas, esses dispositivos dividem-se em bipolares – nos quais ocorre fluxo de cargas tanto por lacunas (cargas positivas) quanto por elétrons e de efeito Campo, tipicamente produzidos pela tecnologia metal óxido semiconductor (MOS)³ –, caso em que o fluxo ocorre somente pelos portadores de carga majoritários, sejam eles elétrons ou lacunas. Ressalte-se que, modernamente, a tecnologia MOS vem suplantando a bipolar em função de suas vantagens: processo de fabricação mais simples, facilidade de miniaturização, baixo ruído (pouca interferência), entre outras.

O critério mercadológico, por outro lado, constitui classificação relevante do ponto de vista econômico, na qual encontramos duas classes de circuitos: padronizados e sob encomenda. Esses últimos, no jargão do setor, são habitualmente conhecidos como *application specific integrated circuits* (ASICs). Já os circuitos padronizados, como o nome indica, destinam-se a uma enorme diversidade de clientes ou aplicações, enquanto os ASICs são pro-

³ Metal é o elemento condutor, óxido é SiO₂ e semiconductor é o elemento de silício (substrato).

jetados para atender a demandas específicas. Numa indústria como a microeletrônica, caracterizada pelo dinamismo tecnológico e pelos ganhos de escala, é fácil entender a razão de os circuitos padronizados terem estado, historicamente, na vanguarda do progresso técnico. Eles, por sua vez, se dividem em duas grandes famílias:

- *memórias*: destinam-se ao armazenamento de informação, sob a forma digital, em produtos eletrônicos; e
- *lógicos*: processam numericamente a informação contida nas memórias.

As memórias podem ser classificadas da seguinte forma:

- *voláteis*: mantêm a informação unicamente na presença de corrente elétrica e são usualmente conhecidas como memórias *random access memory* (RAM), podendo ser estáticas (SRAM) ou dinâmicas (DRAM), conforme a natureza dos dispositivos de armazenamento (as memórias DRAM constituem a forma padrão de armazenamento de dados na informática e eram, até recentemente, o produto mais importante da indústria de componentes); e
- *não-voláteis*: mantêm a informação na ausência de corrente elétrica, havendo numerosos tipos em uso (a sigla ROM significa *read only memory*).⁴

Dentro da classe não-volátil, inicialmente as memórias não eram programáveis, sendo conhecidas por *mask ROM* (MROM), em função de a informação (ou programação) nelas contida ter sido gravada durante o processo de fabricação. Modernamente, passou a ser possível a reprogramação das memórias (não-voláteis) durante sua utilização (em campo), sendo os tipos mais importantes os seguintes: *flash*, mais simples e barato, porém de menor capacidade de armazenagem; *erasable programmable ROM* (EPROM), no qual os processos de apagamento e nova gravação ocorrem por luz ultravioleta; e *electrical erasable programmable ROM* (EEPROM), que é a reprogramação por meio de eletricidade.

Os circuitos lógicos padronizados, também conhecidos pela denominação de microcomponentes, agrupam-se em quatro famílias:

- *microprocessadores*: são as unidades de processamento dos microcomputadores e de outros bens de informática, dependendo sempre de memória externa;
- *microcontroladores*: englobam, no mesmo *chip*, microprocessador, memória e outros elementos de um sistema de processamento de dados;

⁴Dispositivo de armazenagem de informações passíveis de recuperação.

- *microperiféricos* (também denominados co-processadores): são circuitos que melhoram o desempenho dos microprocessadores, encarregando-se de funções específicas; e
- *processadores de sinal digital*: processam sinais analógicos digitalizados em tempo real, sendo freqüentemente usados em conjunto com microprocessadores ou microcontroladores.

Os circuitos fabricados sob encomenda (ASICs) são geralmente classificados de acordo com seu nível de padronização, que por sua vez está intimamente relacionado às suas características técnicas:

- *gate array*: são, de certa forma, os mais padronizados, constituindo-se em arranjos de portas lógicas, que se diferenciam entre si pelas interconexões;
- *standard cell*: são arranjos de blocos lógicos padronizados (células), dispostos de acordo com o projeto específico do ASIC;
- *full custom*: como o nome indica, trata-se de circuitos inteiramente projetados para uma aplicação específica de um cliente específico;
- *programmable logic device*: são os controladores lógicos programáveis; e
- *system on a chip*: nesse caso, um único CI é capaz de executar todas as funções de um aparelho eletrônico.

A implantação da indústria eletrônica no Brasil remonta à década de 50, quando teve início a produção de bens de consumo, os quais eram montados a partir da importação de componentes, que só começaram a ser fabricados localmente na década seguinte.

Convém lembrar que o mercado de produtos eletrônicos naquela época resumia-se basicamente a alguns produtos de áudio e vídeo. A informática era de penetração muito restrita, estando confinada a uns poucos centros de processamento de dados, nos quais um – então considerado – *grande* computador atendia à distância a todo um grupo social. Nas telecomunicações, propagava-se o uso de equipamentos eletromecânicos nas grandes centrais de telefonia, que faziam uso dessa tecnologia tanto nas matrizes de comutação quanto na lógica de relés.

Aos poucos a eletrônica foi sendo desenvolvida no mundo, novos componentes foram criados e o uso de materiais semicondutores disseminou-se. No Brasil, sentiam-se os reflexos desse

Histórico

progresso, na medida em que novos fabricantes de componentes instalavam plantas industriais, apesar da relativa lentidão do crescimento do mercado de bens finais.

As primeiras atividades brasileiras de pesquisa relacionadas a semicondutores foram iniciadas nessa época, com a criação, em 1968, do Laboratório de Microeletrônica da USP.

Os anos 70 foram marcados por uma grande expansão da eletrônica, com a massificação das transmissões por satélite e o surgimento dos microprocessadores e das memórias em estado sólido – ícones da integração de circuitos em larga escala. Na esteira dos microprocessadores vieram os computadores de menor porte, em particular os pessoais, que deram início à aproximação entre a informática e o homem comum. Nas telecomunicações, a eletrônica possibilitou a utilização intensiva de comunicações através do rádio – microondas e satélite –, bem como a otimização dos sistemas de transmissão, através da criação de novos sistemas de multiplexação.

O mesmo período, no Brasil, foi marcado pela expansão do mercado de produtos eletrônicos, majoritariamente os bens de consumo – foi a década da introdução da televisão em cores no país –, e pelos investimentos em telecomunicações. Em relação a esses últimos, cabe observar que a maior parcela da produção nacional ainda era de equipamentos eletromecânicos.

A tendência mundial que então se verificava de descentralização da produção de componentes, antes concentrada nos Estados Unidos, também beneficiou o Brasil. Esse tipo de indústria estava deslocando suas etapas de montagem final, intensivas em processamento manual, para países onde os custos associados à mão-de-obra eram menores. Assim, no início dos anos 80, havia no Brasil mais de duas dezenas de fabricantes de componentes eletrônicos instalados, dentre as quais podem ser citadas:

- as norte-americanas Philco, Texas e Fairchild;
- as européias Philips, Ibrape (Philips), Semikron, Icotron (Siemens) e Thomson-CSF; e
- as japonesas NEC e Rohm.

Cabe observar que, no caso dos semicondutores, aqui normalmente eram feitos a montagem final e os testes dos produtos. Apenas a Philco e a Semikron realizavam localmente a difusão de componentes.

A exportação de componentes era expressiva (cerca de 30% da produção total), apoiada pela existência de uma política de incentivo a operações de *draw-back*. Esse, aliás, foi o único incentivo

governamental recebido por esse tipo de indústria, tendo a implantação das empresas no Brasil ocorrido por iniciativas próprias. Por outro lado, a indústria de componentes brasileira já sentia os efeitos da política fiscal diferenciada da Zona Franca de Manaus, a qual incentivava a montagem naquela região de bens destinados ao consumo interno, ao mesmo tempo em que diminuía a barreira alfandegária que protegia os fornecedores brasileiros.

Um marco importantíssimo para as políticas industrial e tecnológica do setor eletrônico foi a criação, em 1976, na Telebrás, do CPqD, que, sustentado financeiramente pelas operadoras do Sistema, desenvolvia, sozinho ou em parceria com indústrias, equipamentos e sistemas voltados para as telecomunicações. Uma vez aprovados os protótipos, os projetos eram transferidos a fabricantes para sua industrialização, sendo o CPqD remunerado pelo pagamento de *royalties*. O Sistema Telebrás beneficiava-se de tais atividades na medida em que a fabricação local era estimulada e os produtos desenvolvidos atendiam às necessidades das operadoras de acordo com suas peculiaridades regionais, ao mesmo tempo em que propiciavam uma remuneração justa e não abusiva aos fabricantes.

Quanto à informática, embora o mercado de computadores fosse ainda pequeno e basicamente suprido por importações, o seu crescimento acentuado a partir de 1975, as perspectivas de grande penetração das máquinas de menor porte e as preocupações de dependência tecnológica em setor considerado estratégico deram origem à formulação da política nacional de informática (PNI). Esta, inicialmente, restringiu a fabricação de minicomputadores a empresas nacionais que começaram a explorar o novo mercado. Em 1979, a coordenação da PNI foi assumida pela Secretaria Especial de Informática (SEI), cujas atribuições abrangiam também automação, *software* e componentes.

A década de 80 viu o setor de eletrônica brasileiro em franca expansão. Em decorrência da reserva de mercado de informática de pequeno e médio portes para as empresas de capital nacional, multiplicaram-se as indústrias de microcomputadores, especialmente *personal computers*, para os quais a SEI exigia que o projeto fosse nacional, o que indiretamente beneficiava a utilização de componentes nacionais. Já os periféricos mecânicos para esses sistemas, fornecidos por empresas específicas, normalmente tinham sua tecnologia adquirida no exterior e aos poucos eram nacionalizados, sendo esse trabalho mais ou menos aprofundado em função da escala propiciada pelo mercado. Via de regra, a nacionalização abrangia a parte eletrônica propriamente dita, com a utilização de componentes disponíveis no país, e estancava ao ser atingido o módulo de "mecânica fina", apenas montado pelas empresas. Podem ser citadas como notáveis exceções a essa regra os mecanismos de impressão produzidos pela Rima e os discos *winchester*

da Multidigit.⁵ É importante ressaltar que várias pequenas impressoras foram também desenvolvidas no país. Quanto aos monitores de vídeo, bem como aos terminais para sistemas de grande porte, eram geralmente projetados e produzidos pelos fabricantes nacionais de computadores, sendo o cinescópio o grande item importado.

As telecomunicações brasileiras, nos anos 80, sofreram também profundas transformações com a introdução das centrais de comutação eletrônicas, alternativas às antigas eletromecânicas. As primeiras, fornecidas pelas multinacionais das telecomunicações presentes no país, logo começaram a sofrer a concorrência da central Trópico, originada e desenvolvida no CPqD. Suas primeiras versões, adequadas ao atendimento de pequenas localidades, precipitaram uma queda imediata de 50% no preço do terminal telefônico integrado. Com a sucessão de modelos e versões de *software* a Trópico, foi naturalmente expandindo sua penetração no mercado das operadoras brasileiras de telefonia. Paralelamente, diversos outros produtos desenvolvidos no CPqD, equipamentos e componentes, chegavam às indústrias, podendo ser citados: multiplexadores, enlaces ópticos, rádios, antenas, terminais telefônicos, telefones públicos, fibras ópticas e circuitos híbridos. Tais equipamentos eram totalmente nacionais, à exceção de componentes eletrônicos não produzidos no país. Cabe observar a competência do CPqD em projeto de semicondutores especiais (ASICs), utilizados nos seus equipamentos e cuja fabricação era contratada fora do Brasil por não haver aqui nenhuma *foun dry*⁶ apropriada, como será visto a seguir.

O segmento de bens de consumo, já então quase totalmente transferido para Manaus, operava de forma autônoma em relação ao que acontecia com a informática e as telecomunicações no resto do país. Havia, já naquela época, a consciência de que a inteligência dos produtos estava cada vez mais “integrada” nos componentes, na medida em que circuitos inteiros eram substituídos por *chips*. Entretanto, os incentivos à importação de componentes resultantes da legislação da Zona Franca ocasionaram uma significativa redução do mercado interno de componentes, além de impossibilitarem a prática de ações homogêneas para todo o país, colocando obstáculos adicionais à efetiva implantação de uma indústria de CIs no Brasil.

A ação da SEI na condução desse problema traduziu-se de duas formas distintas: primeiro, através de rigoroso controle dos investimentos estrangeiros, o que impediu a vinda para o Brasil de novas fabricantes e condenou as empresas aqui instaladas à obsolescência tecnológica, uma vez que enfrentavam dificuldades tremendas para importar qualquer bem de produção; e, segundo, através da seleção de três grupos empresariais nacionais para a produção de CIs, realizando no país todas as etapas de fabricação: Itaú, Docas (Elebra Microeletrônica) e Sharp. Complementando essa

⁵Empresa do grupo Digicon que ainda hoje atua em mecânica fina, prestando serviços à sua controlada Perto, que fabrica mecanismos para terminais de auto-atendimento. Para mais informações sobre esses produtos, ver Melo, Rios e Gutierrez (2000).

⁶Unidade de processamento físico-químico de silício para CI, sendo essa a fase mais crítica da fabricação desse último.

seleção, foi criado o Centro Tecnológico para Informática (CTI), cujo objetivo era a promoção do desenvolvimento tecnológico associado à informática. Trabalhando em conjunto com universidades, centros de pesquisa e indústrias, o CTI atuaria em microeletrônica, automação, instrumentação e computação. Como parte de suas atribuições no tocante à microeletrônica, confeccionaria as máscaras para litografia – etapa crítica da fabricação de semicondutores –, a serem utilizadas pelas três fabricantes brasileiras de CIs.

Apesar de legitimada pela Lei de Informática (Lei 7.232, de 29.10.84), a PNI passou a enfrentar inúmeras dificuldades, principalmente após o fracasso do Plano Cruzado. As dificuldades econômico-financeiras que se seguiram, as pressões externas e a crescente insatisfação do mercado (aliás, o único financiador da PNI até então) fizeram com que nunca chegasse a termo a negociação entre o governo e os grupos empresariais citados, no sentido da aprovação de um pacote de incentivos à futura indústria. Assim, cada um daqueles grupos iniciou um movimento correspondente aos primeiros passos para uma microeletrônica própria, porém sem alcançar seus desdobramentos. O grupo Itaú, na figura da Itaucom, criou uma infra-estrutura de projeto de ASICs que foi colocada a serviço das fabricantes de bens de informática abrigadas pela reserva de mercado e implantou uma linha de encapsulamento de memórias, voltada para o atendimento dessas mesmas empresas. O grupo Sharp, através da Sid Microeletrônica, constituiu uma empresa de projeto de ASICs (a Vértice) também objetivando as fabricantes de bens de eletrônica nacionais e adquiriu uma linha de fabricação de semicondutores da RCA, que se retirava do país, a qual realizava a difusão e o encapsulamento de circuitos digitais de baixa complexidade. Ressalte-se que essa foi a única empresa, até hoje, a realizar o ciclo completo de produção dos CIs no Brasil.

O final da reserva de mercado e a abrupta abertura comercial que se seguiu fizeram com que, no início da década de 90, o setor de informática brasileiro quase desaparecesse, sendo substituído por importações de equipamentos. As empresas mais sólidas passaram de fabricantes a prestadoras de serviços, mantendo-se, no máximo, como desenvolvedoras de *software* ou especialistas em nichos de mercado, como a automatização bancária, por exemplo. A grande maioria, entretanto, simplesmente fechou suas portas. A situação atingiu tal gravidade que foram criados pela Lei 8.248, de 23.10.91, novos instrumentos de incentivo à produção interna de bens e serviços de informática, automatização e telecomunicações de base digital. Os benefícios fiscais estipulados pela lei poderiam ser concedidos a produtos e empresas cujos processos produtivos básicos (PPBs)⁷ fossem aprovados pelos Ministérios da Ciência e Tecnologia, da Fazenda e – na ocasião – da Indústria, do Comércio e do Turismo. Em contrapartida, as empresas assumiam o compromisso de investir 5% do seu faturamento bruto em bens e serviços de informática e automatização em atividades de pesquisa e desen-

⁷ *Substitutivo ao índice de nacionalização, que consiste na definição de um conjunto de etapas de fabricação de algum bem que devem ser realizadas no país.*

volvimento. Tais incentivos foram responsáveis pela permanência ou instalação no país de muitos empreendimentos nos diversos setores do complexo eletrônico, o que permitiu o atendimento à demanda interna da maioria dos produtos acabados, porém sempre com elevado conteúdo de importações e, praticamente, sem a realização de exportações expressivas, conforme será visto na seção sobre balança comercial.

Quanto às ofertantes de equipamentos para telecomunicações, inicialmente pouco afetadas por aquela abertura comercial pelo fato de haver um único comprador (o Sistema Telebrás) que tinha regras próprias para homologação e aquisição de produtos, aos poucos foram se ajustando às novas regras da Lei 8.248, passando a fazer uso também dos benefícios concedidos pelo atendimento do PPB. Os impactos da privatização de 1998 sobre a indústria de equipamentos intensificaram o movimento de homogeneização das feições dessa indústria e da indústria de bens de informática.⁸ Antes disso, entretanto, a quebra do monopólio estatal das comunicações pela Lei 9.472 (conhecida como Lei Geral das Telecomunicações), de 16.07.97, e o prenúncio da privatização das operadoras da Telebrás já se faziam sentir sobre o CPqD. Gradativamente, foram sendo paralisados os novos desenvolvimentos de equipamentos e componentes, ao mesmo tempo em que sua renomada equipe de especialistas e cientistas começou a ser desmontada.

A indústria de eletrônica de consumo, localizada na Zona Franca de Manaus, manteve-se ao largo de todas essas mudanças, na medida em que estava protegida por uma série de benefícios fiscais, assegurados pela Constituição de 1988, até 2013. Entretanto, apenas umas poucas indústrias de componentes que haviam sido transferidas para Manaus acompanhando as montadoras de bens finais subsistiram.

As medidas de abertura comercial dos anos 90 podem ser responsabilizadas também pelo fechamento de quase todas as unidades de fabricação de componentes eletrônicos. Em particular, foram afetadas todas as três iniciativas de produção do ciclo completo de CIs eleitas pela SEI, como explicado a seguir. Uma vez extintas as empresas que projetavam bens de informática, foi extinta também a Vértice, assim como a estrutura de projetos de semicondutores da Itaucom, a qual manteve sua linha de encapsulamento de memórias. Já a Sid Microeletrônica gradativamente diminuiu seu ritmo de produção até encerrar suas atividades em outubro de 2000. A Asga, empresa controlada por antigo executivo da Elebra Microeletrônica, abandonou a produção de componentes optoeletrônicos, cuja tecnologia havia sido desenvolvida pelo CPqD. Quanto às fabricantes estrangeiras, viram-se frente à competição com similares importados, oriundos de plantas mais modernas e com maior grau de concentração, ao mesmo tempo em que fechavam as portas diversos de seus clientes brasileiros. A transferência de quase todas as fábricas para outros países foi imediata.

⁸As perspectivas da indústria de equipamentos no momento da privatização das telecomunicações brasileiras estão detalhadamente descritas em Melo e Gutierrez (1998).

A indústria de bens eletrônicos finais está implantada no país, porém visa basicamente à exploração do mercado interno e, em alguns casos, do mercado adicional representado pelo Mercosul. De maneira geral, essa indústria faz apenas a montagem final dos produtos, que é, na maioria dos casos, a única exigência do PPB para bens eletrônicos, cujo projeto é normalmente realizado em centros de desenvolvimento no primeiro mundo, estando, cada vez mais, “integrado” em componentes que não são fabricados no Brasil. Decorre daí uma certa volatilidade do investimento realizado, que permanece no país enquanto apoiado por medidas de incentivo à produção local. Uma competitividade efetiva, que eleve a indústria de bens eletrônicos brasileira à condição de exportadora, depende, basicamente, de dois fatores que precisam ser alcançados ao mesmo tempo: maior escala de produção e menor custo dos componentes.

Alguns produtos já são fabricados no país em escalas internacionais, devido ao considerável tamanho do mercado brasileiro, como é o caso, por exemplo, de televisores e terminais celulares. Entretanto, o fato de o projeto dos bens não ser realizado localmente e as pequenas exigências de industrialização do PPB, que normalmente não demanda conteúdo mínimo nacional, trazem como consequência a importação de tecnologia de produtos materializada sob a forma de *kits* completos de componentes para montagem. Ora, o acesso a componentes a baixo custo depende da estratégia internacional do fornecedor de *kits*, que pode, inclusive, negociá-lo a preços que permitam a concorrência no mercado brasileiro, mas inviabilizem a competição no mercado mundial. No caso das empresas pertencentes a grupos transnacionais, essa competitividade internacional é também função da estratégia corporativa, que, vislumbrando uma produtividade mais elevada da subsidiária brasileira ou uma logística de atendimento mais adequada a partir do Brasil, pode definir áreas de exportação que beneficiem a unidade aqui instalada. Nesse cenário move-se, hoje, a indústria eletrônica brasileira de bens eletrônicos.

É importante observar que as etapas de montagem final e teste de produto acabado agregam pouco valor ao bem, de forma que mesmo a prática normal de exportação de parte da produção costuma levar a resultados não satisfatórios na balança comercial. Como exemplo, vale citar aqui o caso do complexo eletrônico mexicano. Com a *maquilla*, montagem final de bens para exportação, um enorme volume de produtos eletrônicos passou a ser montado no México e exportado para o mercado norte-americano, cuja dimensão é muitas vezes maior que o próprio mercado mexicano. Todos os componentes utilizados em tal montagem são de procedência externa. Tem-se, assim, um valor de exportações de bens eletrônicos superior a US\$ 30 bilhões anuais, com um saldo correspondente na balança comercial de apenas US\$ 3 bilhões por ano. E isso graças

ao fato de o volume de bens exportados ser muito maior que o volume consumido internamente.

Com o final da vigência da Lei 8.248 em outubro de 1999 sem que o Congresso tivesse concluído a análise do projeto de lei que a substituiria, ela passou a ser prorrogada por decretos-leis, até que no início de 2001 finalmente foi sancionada a nova Lei de Informática. Da mesma forma que a anterior, esta beneficia os fabricantes de bens de informática com a isenção do IPI para os produtos que cumprem as exigências do PPB e exige, como contrapartida ao incentivo, a aplicação de recursos em pesquisa e desenvolvimento. Dentre as diversas variações em relação à Lei 8.248, sem dúvida a mais importante é a que prevê uma redução gradual dos incentivos concedidos às empresas até a sua extinção ao final de 2009. Isso aponta para a necessidade de uma preparação da indústria para a concorrência no cenário internacional, que virá certamente, naquele ano ou, no mais tardar, em 2013, quando terminam os incentivos da Zona Franca de Manaus. Tal comportamento depende diretamente da existência de uma indústria local de componentes eletrônicos competitiva, capaz de também alavancar as exportações.

A indústria de bens de consumo da Zona Franca de Manaus é beneficiária de diversos incentivos, que são utilizados, primordialmente, para abastecer o mercado interno. Para fazerem jus a tais benefícios, as fabricantes de bens eletrônicos precisam cumprir as exigências de um PPB cujos critérios são semelhantes aos dos seus equivalentes para o resto do Brasil, isto é, resumem-se à montagem final dos produtos. Também nesse caso é válido tudo aquilo que foi dito a respeito da dependência de *kits* de componentes e da competitividade da indústria. Ou seja, de acordo com a legislação que incentiva a fabricação de equipamentos eletrônicos no país, apenas a montagem dos bens finais é exigida das empresas. Tal situação configura uma concessão de incentivos para exploração do mercado interno, sem qualquer contrapartida de adensamento da cadeia produtiva ou de exportação, e é válida tanto para a Lei de Informática quanto para a Zona Franca de Manaus.

Quanto aos componentes brasileiros, as poucas empresas sobreviventes atuam em nichos de mercado ou estão fortemente ancoradas em posições internacionais, como será visto na próxima seção. Contudo, em geral enfrentam o problema do esvaziamento da indústria de bens finais, sua cliente, que substitui o suprimento nacional por *kits* importados, ou seja, o mercado para os componentes existe, mas não pode ser acessado. Por outro lado, a crescente internacionalização das indústrias de bens finais exige que qualquer fornecedor de componentes seja homologado junto ao centro de desenvolvimento do produto para que receba a denominação de fornecedor global (*global supplier*). Isso implica a capacidade de pronto atendimento a qualquer das unidades fabris da corporação,

independentemente de localização geográfica, o que de imediato elimina as fabricantes de componentes de menor porte.

O único movimento dissonante, no cenário de extinção da incipiente indústria de semicondutores brasileira, foi a criação de um centro de projeto de CIs pela Motorola, no início de 1998. Instalada na região de alta tecnologia de Campinas, a empresa realiza, no Brasil, projetos de ASICs voltados para o mercado mundial. Seus parâmetros de produção são informados às equipes de projeto, as quais os utilizam como balizadores para o seu trabalho. Concluído o projeto, ele é enviado por redes de dados a uma das *foundries* da companhia (nos Estados Unidos, no Japão ou na Europa), que confecciona as máscaras e difunde um pequeno lote de protótipos, os quais são recebidos no centro de projeto em até 48 horas, encapsulados e testados, etapas que, no Brasil, são subcontratadas ao ITI (ex-CTI). É interessante observar que o lucro originado pelos CIs projetados no Brasil não está refletido no resultado da filial brasileira, nem na sua balança comercial, uma vez que os CIs não são aqui produzidos nem faturados. O pagamento de *royalties* pelos CIs também não é devido no Brasil, porque aqui está apenas um grupo subordinado à estrutura de projetos da empresa. O grande benefício da existência de um tal grupo de projetos no país é a geração de empregos altamente qualificados e, portanto, bem remunerados, os quais, por sua vez, geram uma série de demandas na economia local pelo seu efeito renda.

O centro brasileiro de projetos da Motorola tem crescido continuamente, mais do que dobrando a cada ano, e sua expansão, muitas vezes à custa de mão-de-obra proveniente do CPqD e de outras empresas locais, enfrenta, agora, a dificuldade de encontrar novos profissionais no mercado. Isso, porém, não é privilégio da Motorola, pois levantamentos recentes do Ministério da Ciência e Tecnologia concluíram que existiam no Brasil, em meados de 2000, apenas 176 pessoas com título de mestre ou doutor em microeletrônica. Ainda mais grave do que isso é a escassez de profissionais especializados em tecnologias utilizadas no processo de fabricação de CIs: óptica e física do estado sólido, bem como química e metalurgia. Daí ser possível concluir que, se o Brasil realmente deseja praticar uma política visando à implantação de uma indústria de microeletrônica expressiva, deve dar início imediato a um trabalho de formação de recursos humanos.

Com o advento da privatização das telecomunicações brasileiras, o CPqD foi transformado em uma fundação de direito privado sens fins lucrativos, tendo abandonado quase por completo o desenvolvimento de equipamentos e componentes. Ele é hoje acionista de algumas empresas voltadas tanto para a produção de equipamentos já tradicionais, caso das centrais de comutação Trópico (através da Trópico, uma associação com o grupo Promon), quanto para a realização de *clearing*, isto é, encontro de contas entre as operadoras

de telecomunicações (através da Cleartech, associação com a DBA e a especialista norte-americana EDA). Suas atividades concentram-se basicamente em desenvolvimento de *software* especializado para operadoras de telecomunicações e em prestação de serviços específicos, entre os quais se incluem o desenvolvimento de dispositivos optoeletrônicos. Vale registrar a recente criação de uma filial nos Estados Unidos (a CPqD San Jose) com o objetivo de apoiar a comercialização de seus produtos no mercado norte-americano e viabilizar sua exportação também para a Europa.

O CPqD teve grande responsabilidade no dinamismo tecnológico que transformou a região de Campinas em um pólo de atração de empresas da nova tecnologia da informação. Sua reconhecida competência e a grande interação com universidades, centros de pesquisa, indústrias e operadoras de telecomunicações promoveram também a formação de recursos humanos para todo o complexo eletrônico. Entretanto, com a desmobilização de boa parte de suas estruturas de projeto de *hardware* e componentes, assisteu-se à dispersão, inclusive para outros países, de mão-de-obra especializada.

O fracasso da tentativa de implantação de uma indústria de microeletrônica no Brasil refletiu-se no desemprego do CTI, que, apesar da qualificação do seu quadro técnico, não obteve êxito em desenvolver a tecnologia de semicondutores no país e foi prejudicado pela escassez de recursos, agravada na década de 90, quando foi atingido pelo mesmo processo de esvaziamento que atingiu a indústria de semicondutores brasileira. Recentemente, ele foi renomeado ITI, estando ainda apto a realizar projetos e a fabricar pequenas séries e protótipos de semicondutores de menor complexidade, além de formar recursos humanos, disponibilizar seu acervo e sua infraestrutura e realizar pesquisas. O ITI vem prestando serviços de encapsulamento e testes para a Itaucom e a Motorola (no caso desta última como um complemento à sua atividade de projeto).

Mercado Mundial Semicondutores

Nos últimos 20 anos, a indústria eletrônica como um todo tem tido um crescimento superior à média verificada mundialmente. No período 1993/98, por exemplo, enquanto as vendas de sistemas eletrônicos cresciam a uma taxa anual média de 8,6%, a produção mundial aumentava 3,2% a cada ano, em média. Essa tendência deve continuar nos próximos anos, tendo em vista o desenvolvimento de novas aplicações e o aprimoramento das infra-estruturas tecnológicas das várias economias em todo o mundo.

As vendas de semicondutores a partir de 1993, como apresentado na Tabela 1, têm representado algo em torno de 15% das vendas dos sistemas eletrônicos, com uma tendência de crescimento nessa participação.

Tabela 1

Conteúdo de Semicondutores nos Equipamentos Eletrônicos – 1993/2000

(Em US\$ Bilhões)

EMBARQUES	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000 ^a
Semicondutores	77	102	144	132	137	126	149	193
Equipamentos Eletrônicos	633	701	800	851	910	960	1.050	1.190
Participação (%)	12,2	14,6	18,0	15,5	15,1	13,1	14,2	16,2

Fonte: ICE.

^aValores estimados.

É importante observar que no período 1996/98 houve uma redução no valor dos semicondutores frente ao valor total dos sistemas eletrônicos. Entretanto, essa diminuição foi apenas aparente, uma vez que não correspondeu a um menor conteúdo de semicondutores presente nos sistemas. O que houve, na realidade, foi uma redução nos preços médios dos semicondutores nesse período, como será visto a seguir.

A distribuição do mercado de semicondutores entre as principais regiões econômicas do mundo, em 1995 e em 2000, pode ser vista no Gráfico 1. Destaca-se o crescimento da participação do Extremo Oriente, também chamado Ásia-Pacífico, nessa distribuição, o que pode ser atribuído ao aumento da atividade de montagem de placas e de equipamentos eletrônicos nessa região. Somente uma pequena parcela desses produtos são lá consumidos, pois em sua grande maioria são exportados para as outras regiões.

Já a distribuição dos semicondutores entre os principais segmentos consumidores está no Gráfico 2. Vale observar a diminuição da participação dos segmentos militar, de controle industrial e de consumo no total geral, assim como o crescimento do segmento automotivo e a “explosão” das telecomunicações.

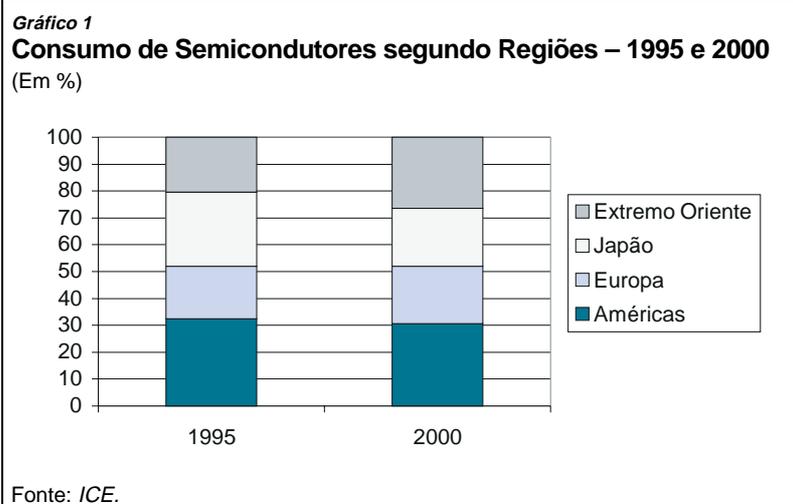
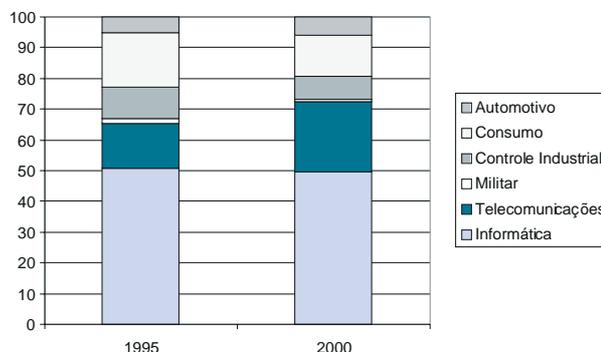


Gráfico 2
Consumo de Semicondutores por Segmento Industrial – 1995 e 2000

(Em %)



Fonte: ICE.

A indústria de componentes semicondutores, ao longo de sua história, vem crescendo continuamente quando considerados os embarques físicos. Por outro lado, os valores desses embarques têm passado por períodos de flutuação, o mais dramático deles entre 1995 e 1999, quando ficaram estáveis, conforme o Gráfico 1.

Os preços dos semicondutores têm variado em função da utilização da capacidade instalada das indústrias. A demanda crescente nos anos que antecederam 1996 levou os produtores a investir pesadamente na expansão das indústrias. Naquele ano, começaram a surgir os efeitos do otimismo exagerado de tais investimentos sob a forma de um excedente de capacidade produtiva, ao que veio se juntar uma luta por participações maiores no mercado. A consequência natural foi a queda dos preços, que se aprofundou nos anos seguintes, pois, apesar de a demanda por semicondutores realmente ser crescente, a crise enfrentada pela oferta foi ainda maior. Somente a partir de 1999 a indústria iniciou sua recuperação. Assim, enquanto ao final de 1998 a utilização da capacidade produtiva total era inferior a 82%, no primeiro trimestre de 2000 ela já havia atingido mais de 94%.

Nos dois últimos anos o mercado de semicondutores apresentou um crescimento acentuado. Prever o comportamento do mercado nos próximos anos não é tarefa fácil, uma vez que há indícios de saturação da penetração de computadores pessoais nos países mais desenvolvidos, assim como há dúvidas sobre a manutenção das taxas de crescimento verificadas em telefonia celular.

Algumas mudanças no modelo do negócio vêm sendo implementadas, inclusive no sentido de diminuir a vulnerabilidade das empresas a tais oscilações. Assim, parte das atividades produtivas é transferida para *foundries* independentes, o que reduz a

necessidade de investimento próprio em expansões. Também estão sendo formadas alianças tanto para a fabricação quanto para o desenvolvimento de novos produtos como forma de dividir os altos montantes de capital investidos.

O fenômeno descrito não atingiu igualmente todas as categorias de semicondutores, variando sua intensidade de acordo com o tipo de componente produzido. Os efeitos mais dramáticos parecem ter sido reservados para as memórias dinâmicas (as DRAMs), *commodities* por excelência e cujo aumento da oferta está sob a ingerência de uma multiplicidade de fatores, inclusive dos governos de alguns países, o que faz com que as razões que determinam os investimentos não sejam puramente econômicas.

A crise econômica enfrentada pelos países asiáticos também exerceu certa influência sobre o difícil período dos últimos anos da década de 90. Ela teve reflexos na redução da importação de semicondutores a serem incorporados a produtos finais, porém não foi tão importante quanto possa parecer. Embora os países asiáticos sejam grandes consumidores de componentes semicondutores, a grande maioria dos bens finais por eles produzidos não é consumida internamente e sim exportada, o que de certa forma coloca a demanda por semicondutores a salvo das crises internas.

É importante observar que o crescimento médio dos preços dos semicondutores nos últimos 20 anos tem sido de 2,5% ao ano, insuficiente para compensar as desvalorizações inflacionárias, ainda mais sabendo-se que os produtos têm passado por profundas mudanças, incorporando um maior número de funções e aumentando a sua complexidade.

Atualmente, as indústrias estão operando com plena utilização da sua capacidade e investindo tanto em expansão quanto em melhorias de processo. Tal situação tem reflexo sobre a recuperação dos preços médios dos semicondutores, sendo as taxas de crescimento dos embarques, em 2000, de 25,5% em quantidades físicas e de 41,7% em valor.

Por semicondutores entende-se uma grande quantidade de diferentes produtos, os quais podem ser classificados por categorias. A primeira e mais simples, em oposição aos CIs, é a dos semicondutores discretos, que possuem um grau de complexidade muitas vezes menor que o de qualquer CI. Por essa razão, o mercado de discretos, apesar de muito maior que o de CIs em termos físicos, é muito menor se forem considerados os respectivos valores.

O mercado de semicondutores discretos, tanto em valor quanto em volume, tem crescido nos últimos anos, tendência que é projetada também para o futuro próximo, em função do surgimento de novas aplicações para os componentes discretos, como, por

exemplo, em fontes de alimentação para novos produtos eletrônicos, em eletrônica de potência em substituição a soluções eletromecânicas etc.

A Tabela 2 mostra a evolução das parcelas do mercado de semicondutores relativas aos componentes discretos e aos CIs, bem como suas projeções para os próximos anos.⁹

Tem sido do Japão a maior parte do consumo regional dos semicondutores discretos, pois o país chegou a concentrar cerca de metade da demanda desses componentes na década de 80. Nos anos 90, ela tem diminuído, em termos relativos, ao passo que a demanda do resto da Ásia vem crescendo, como reflexo do aumento da produção de bens eletrônicos na região. Já as demandas das Américas e da Europa parecem estar estabilizadas. A distribuição regional do consumo de semicondutores discretos em 2000, em sua versão preliminar, é apresentada no Gráfico 3.

Feita a distinção dos componentes discretos, é possível dividir os CIs em diversas categorias genéricas: ASICs, micrológica, memórias, circuitos analógicos e outras. A parcela de cada uma dessas categorias dentro do mercado mundial de CIs pode ser vista na Tabela 3.

Tabela 2

Semicondutores: Participação dos Componentes Discretos x CIs – 1995/2000

(Em US\$ Bilhões)

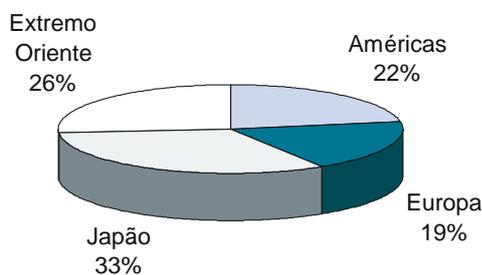
SEMICONDUCTORES	1995	1996	1997	1998	1999	2000 ^a
Discretos	18,35	17,03	17,67	16,54	19,16	27,63
Circuitos Integrados	126,16	114,94	119,53	109,07	130,22	183,22
Total	144,41	131,97	137,20	125,61	149,38	210,85

Fonte: ICE.

^aValores preliminares.

Gráfico 3

Consumo Regional de Discretos – 2000



Fonte: ICE.

⁹As estatísticas até aqui apresentadas foram publicadas pelo Integrated Circuit Engineering (ICE) em junho de 2000. A partir desse ponto, contudo, serão utilizadas projeções publicadas em novembro do mesmo ano. É interessante observar que a demanda por semicondutores surpreendeu até mesmo os especialistas, que, entre uma e outra publicação, aumentaram suas expectativas para o ano 2000 de US\$ 193 bilhões para US\$ 211 bilhões.

Tabela 3

Semicondutores: Participação dos Principais CIs – 1995/2000

(Em US\$ Bilhões)

CIRCUITOS INTEGRADOS	1995	1996	1997	1998	1999	2000 ^a
ASICs	19,78	20,13	21,05	18,56	23,16	34,67
Micrológica	33,40	39,83	47,77	47,34	51,70	63,94
Memórias	53,46	36,02	29,34	22,99	32,29	52,43
Analógicos	16,65	17,04	19,79	19,07	22,08	31,09
Outras	2,87	1,92	1,58	1,11	0,99	1,09
Total	126,16	114,94	119,53	109,07	130,22	183,22

Fonte: ICE.

^aValores preliminares.

Os ASICs inicialmente constituíam uma classe de CIs dedicados, projetados e feitos sob encomenda para um determinado cliente, também seu único comprador. Com o passar do tempo, os fabricantes de CIs, ao verificarem que alguns desses produtos estavam vinculados a determinados tipos de aplicações mais do que a clientes específicos, passaram então a desenvolver CIs padronizados como uma evolução de determinados ASICs, os *application specific standard products* (ASSPs), que proporcionam aos fabricantes de equipamentos eletrônicos um prazo muito curto para o lançamento de novos produtos, já que utilizam componentes “de prateleira”, além de minimizar o esforço de projeto e, portanto, de custos. Algumas das aplicações típicas dos ASSPs são os compressores de vídeo, os *drivers* de discos, de CDs etc.

A possibilidade e a velocidade das inovações em bens eletrônicos estão, em grande parte, vinculadas à disponibilidade de ASICs, o que lhes confere um intenso dinamismo no que diz respeito ao desenvolvimento de novos projetos. Assim, são utilizados em larga escala o reaproveitamento de projetos, através da padronização de células de funções agrupáveis em diferentes arranjos, e a configuração de *links* internos aos CIs por programação externa (*software*). As células ou blocos de funções, denominadas *cores*, são patenteadas pelas empresas que as desenvolvem, constituindo parte da propriedade intelectual das companhias. Grandes bibliotecas de células são colocadas à disposição dos projetistas, pertençam eles a uma empresa integrada que possui tanto setores de projeto quanto de fabricação, ou, como já acontece, sejam eles funcionários de empresas sem fábrica própria – as *fabless houses* –, que contratam os serviços de *foundry* em regime de parcerias.

Segundo técnicas de projeto e fabricação, os ASICs podem ser agrupados nas categorias *gate array*, *standard cell*, *programmable logic device* (PLD) e *system-on-a-chip* (SOC). Esta última é constituída por componentes resultantes da integração de células padronizadas que incluem processador, memória e um ou mais blocos patenteados específicos para a aplicação do componente.

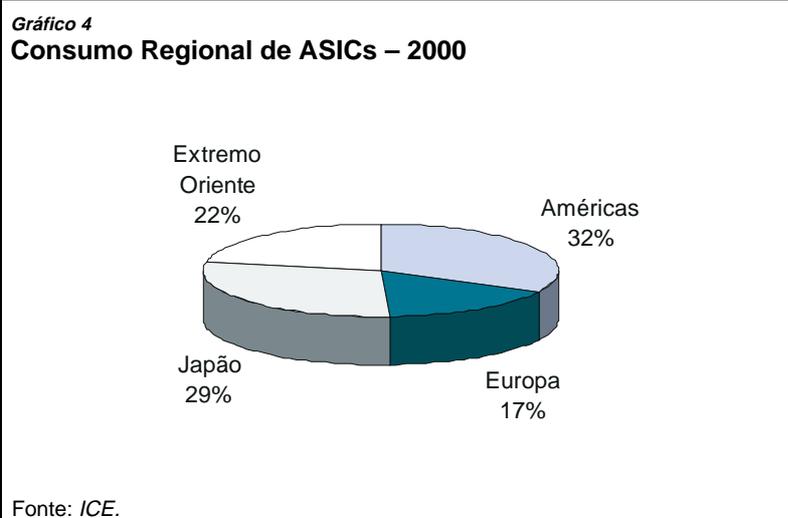
Enquanto o *gate array* vem decaindo em importância na última década, representando menos de 8% do mercado total de ASICs em 2000, os tipos *standard cell* e PLD vêm se firmando como tendências nesse segmento, sendo responsáveis, respectivamente, por cerca de 32% e 14% do mercado no mesmo ano. O restante do mercado inclui, principalmente, componentes especiais para atendimento a propósitos como *modems*, jogos e eletrônica de consumo, além de *drivers* para *displays*. Embora o seu crescimento seja previsto, esses componentes não possuem o vigor nem o dinamismo dos tipos *standard cell* e PLD, que, em 2004, deverão representar em torno de 60% do mercado de ASICs.

O grande crescimento da importância do tipo *standard cell* é devido à expansão dos SOCs, utilizados em larga escala nas telecomunicações e também nos equipamentos para redes.

Vale assinalar, ainda, o aumento da utilização de ASICs nas telecomunicações em geral, com tendência de intensificação até meados da década. As telecomunicações são, hoje, responsáveis por cerca de 41% dos faturamentos de ASICs, sendo esperado que esse percentual seja de 45% daqui a cinco anos.

A distribuição regional do mercado de ASICs em 2000 (preliminar) pode ser vista no Gráfico 4. Nota-se a liderança das Américas, a qual vem sendo construída gradativamente desde 1998. O Japão, que liderava o consumo de ASICs em meados da década de 90, tem perdido importância para os outros países da Ásia, os quais (incluindo o Japão) são responsáveis por cerca de metade da demanda mundial. O consumo da Europa, embora crescente, em termos relativos apresentou ligeira diminuição, pois foi de 19% em 1995.

O segmento de CIs designado genericamente como micro-lógica compreende três categorias principais: a) os microproces-



sadores, que podem ser definidos como CPUs programáveis por *software*, o qual é armazenado, assim como seus resultados, em memórias externas; b) os microcontroladores, que se assemelham aos primeiros, possuindo, contudo, memórias internas para armazenar conjuntos de instruções e seus resultados; e c) os microperiféricos, que funcionam em conjunto com os microprocessadores e têm por finalidade melhorar o seu desempenho, através da realização de funções especiais como controle de barramento, gerenciamento de memória ou de disco, gerenciamento de comunicações e de dispositivos periféricos. Alguns microperiféricos recebem o nome de co-processadores.

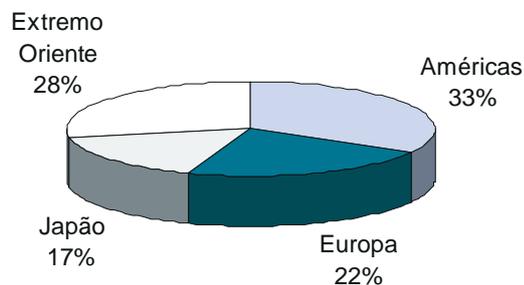
Um tipo de microcontrolador merece ser destacado pela importância que tem adquirido no cenário dos CIs. Trata-se do *digital signal processor* (DSP), cada vez mais usado para processar informações do mundo real, que é analógico, em tempo real. Disposto de conversores analógico-digital e digital-analógico, o DSP possui imenso campo de aplicações, destacando-se a telefonia móvel, as comunicações por voz, em geral, e os bens de consumo como câmeras digitais e receptores de televisão de alta qualidade.

Hoje, e possivelmente também nos próximos anos, o crescimento do segmento de micrológica é liderado pelas telecomunicações, o que não era verdade no passado, quando a informática respondia pelo crescimento desse segmento de CIs. Entretanto, embora ela ainda seja responsável por cerca de metade das vendas de toda a indústria de semicondutores e seja esperado um forte crescimento da produção de micrológica para informática, o correspondente valor dos faturamentos não deverá acompanhar tal crescimento, em virtude de pressões competitivas entre fabricantes e aquelas visando ao mercado de PCs populares. Por outro lado, a aplicação de micrológica em telecomunicações e em eletrônica de consumo deverá aumentar muito rapidamente, levando a um crescimento da participação desses segmentos no mercado total.

Dentro do segmento de micrológica, em que mais de 51% da produção em valor são devidos aos microprocessadores, prevê-se que estes tenham seu faturamento aumentado em função da computação de grande porte, equipamentos de rede, telecomunicações e eletrônica embarcada, porém sem aumento daquele percentual. Já os microcontroladores, especialmente movidos pelos DSPs, devem ampliar seus 30% atuais para mais de 35% da demanda de micrológica em 2004. Finalmente, os microperiféricos, basicamente destinados a sistemas de informática, deverão experimentar, nos próximos anos, um pequeno crescimento, insuficiente, porém, para reverter a tendência declinante de sua participação na demanda de micrológica, passando de 19% nos dias de hoje para menos de 15% em 2004.

A distribuição regional do consumo de micrológica é mostrada no Gráfico 5 (prévia do ICE). É digno de nota o aumento do

Gráfico 5
Consumo Regional de Micrológica – 2000



Fonte: ICE.

percentual devido à Ásia, que passou de 19% em 1995 para os 28% atuais. Tal crescimento deu-se à custa do Japão, cuja participação na demanda era de 21% em 1995, e das Américas, que, naquele ano, respondia por 39% do consumo mundial. Esse desempenho da Ásia deve-se, principalmente, ao grande crescimento da indústria montadora de placas e de equipamentos de informática presente na região, em particular em Taiwan, Cingapura e Coréia. Espera-se que as Américas revertam ligeiramente a sua posição declinante em função da computação de grande porte, equipamentos para redes e telefonia móvel. Esta última deverá também responder pelo aumento de demanda da Europa, porém sem conseguir reverter sua tendência de pequena queda relativa no consumo de micrológica. A mesma tendência verifica-se também no Japão, em que pesem os ganhos que deverão ser conquistados nos segmentos de consumo e de eletrônica embarcada.

No segmento de memórias, três tipos apenas são responsáveis por mais de 94% da produção mundial em valor: as memórias de acesso aleatório dinâmicas (DRAM) e estáticas (SRAM) e as memórias *flash*. Todas elas atualmente são produzidas com plena utilização da capacidade instalada, o que tem elevado os seus preços. Isso também tem acontecido com os demais tipos de memórias, as de apenas leitura (ROM, EPROM e EEPROM), embora eles não estejam sofrendo restrições de produção, o que pode ser creditado às memórias *flash*. A explicação é que tanto as memórias de apenas leitura quanto as *flash* caracterizam-se como não-voláteis, ou seja, não perdem as informações nelas armazenadas, mesmo quando o suprimento de energia é desligado. Já as memórias de acesso aleatório são voláteis.

A volatilidade é também uma característica dos preços das memórias, e essa afirmação é válida mais do que para qualquer outro

componente semiconductor. Isso se deve, provavelmente, às características de produto homogêneo das memórias, que além disso são produzidas por diversas empresas que concorrem entre si de forma freqüentemente predatória. O exemplo contrário é fornecido pelos microprocessadores, cuja oferta é quase monopolizada pela Intel e cujos preços aumentaram ao longo de toda a década de 90.

Pelos grandes volumes envolvidos, as memórias voláteis têm sido caracterizadas como *commodities*, levando a um acirramento da concorrência entre fornecedores. Adicionalmente, elas também têm enfrentado fortes ingerências governamentais, que sujeitam decisões sobre investimentos em novas plantas a critérios estratégicos, mais do que econômicos. Vale observar que a produção de memórias *flash* tem crescido muito, alcançando volumes que já permitem classificá-las também como *commodities*.

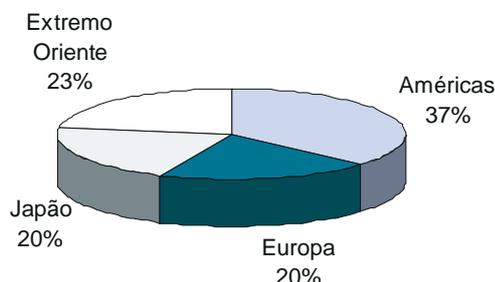
O número de aplicações que requerem memórias é imenso, algumas necessitando de um determinado tipo de componente e outras não. Por outro lado, a integração de memórias em componentes do tipo SOC é uma tendência verificada, o que faz com que o mercado de memórias como um todo tenha um crescimento, mesmo em termos físicos, inferior ao dos demais CIs.

A utilização majoritária das memórias tem sido no segmento de informática, responsável por 74% do consumo em 1999. Entretanto, apesar do crescimento esperado desse segmento, cerca de 11% da sua demanda em 2004 deverão ter sido canalizados para os segmentos de consumo e, principalmente, de telecomunicações, cujas participações no consumo de memórias em 1999 foram de 8% e 12%, respectivamente.

A memória mais consumida é a DRAM, tipicamente utilizada como memória principal de computadores, embora também seja usada em equipamentos de comunicação e consumo. Espera-se que a sua produção em valor cresça, porém com uma diminuição percentual de sua participação no mercado de memórias de 61% em 2000 para 57% em 2004. Já a SRAM, muito usada como memória *cache* de computadores, poderá vir a ser integrada nos próprios microprocessadores, levando sua participação de 13% no mercado em 2000 a diminuir três pontos percentuais até 2004. Vale ressaltar o grande crescimento da demanda nos últimos dois anos por memórias *flash*, basicamente utilizadas em terminais celulares. Além disso, elas vêm substituindo outras memórias não voláteis – as ROM e as EPROM. Dessa forma, a participação das memórias *flash* no mercado deverá passar dos atuais 20% para 30% em 2004. Quanto aos demais tipos de memórias, todas elas não-voláteis, sua demanda em 2004 não deverá ultrapassar 4% do mercado total de memórias.

A distribuição regional da demanda de memórias em 2000, também em sua versão preliminar, pode ser vista no Gráfico 6. As

Gráfico 6
Consumo Regional de Memórias – 2000



Fonte: ICE.

Américas lideram o consumo, como sempre o fizeram, sendo esperada a manutenção dessa posição. O segundo lugar é ocupado pela Ásia, que, pelo grande número de montadoras de placas e equipamentos lá existentes, suplantou a demanda da Europa e do Japão. Aliás, a continuidade da transferência de atividades produtivas de bens finais para a Ásia é prognosticada pelos especialistas.

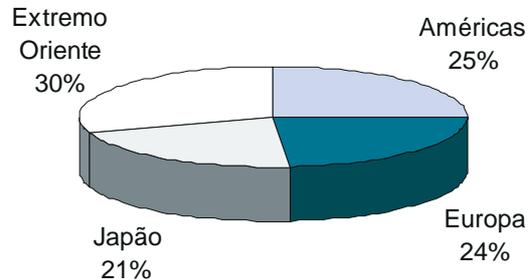
Os CIs analógicos, ou lineares, embora não recebam tantas atenções quanto os tipos anteriores, todos eles digitais, são de grande importância, pois integram a interface entre o homem e o mundo digital, na medida em que aquele só consegue interagir com grandezas analógicas. Nesse segmento estão classificados também os mistos, digitais e analógicos, em que pelo menos metade de sua área é ocupada por circuitos analógicos. Essa categoria inclui amplificadores, circuitos de interface, reguladores de tensão, conversores de dados, comparadores, além de componentes específicos para áudio, vídeo, eletrodomésticos, telecomunicações, eletrônica automotiva etc.

A esperada expansão dos segmentos de consumo, automotivo e, principalmente, telecomunicações deverá propiciar um expressivo crescimento do mercado de CIs analógicos. Por outro lado, trata-se de um segmento de mercado mais estável que os demais, não sujeito a bruscas mudanças de tecnologia e volatilidade, o que o torna mais predizível e, portanto, seguro.

A distribuição regional do consumo de CIs analógicos está no Gráfico 7 (prévia do ICE). Cabe observar apenas a evolução da participação japonesa, que, nos anos 80, liderava a demanda desses componentes, mas veio decrescendo ao longo da década de 90. É estimada pelos especialistas uma certa continuidade da situação atual para os próximos anos, somente com um pequeno crescimento

Gráfico 7

Consumo Regional de Analógicos – 2000



Fonte: ICE.

da posição asiática, certamente motivada pela concentração da montagem de bens finais na região.

Outra questão relevante refere-se à evolução dos equipamentos para produção de CIs. O rápido aprimoramento do processo produtivo tem feito com que os equipamentos sofram uma rápida obsolescência, muito antes de esgotada sua vida útil. A diminuição das dimensões das gravações sobre o silício e o aumento da área dos *wafers* têm sido os responsáveis por tal obsolescência tecnológica. Resulta daí um vigoroso mercado de equipamentos usados seminovos, tendo em vista que nem todos os tipos de CIs requerem que sua fabricação ocorra segundo o processo produtivo mais moderno. Isso é verdadeiro apenas para *commodities* como memórias e microprocessadores, em que ganhos no processo têm impacto direto sobre o preço praticado. Outros produtos, cuja produção não requer graus tão sofisticados de integração, como, por exemplo, microcontroladores para produtos de consumo, podem beneficiar-se desse mercado de equipamentos usados.¹⁰

A oferta de componentes eletrônicos passivos encontra-se em processo crescente de concentração, tanto em relação ao processo produtivo quanto em relação a estratégias empresariais. Como exemplo do primeiro podem ser citados os capacitores cerâmicos SMD de dimensões reduzidas, cujo processo de produção é totalmente automático e executado em uma única máquina desenvolvida pela própria fabricante do componente, pois existe uma relação direta entre características do componente e processo produtivo, tornando-se a indústria, cada vez mais, uma pesquisadora de novos materiais. As instalações mais novas produzem em altíssimas escalas, de forma que, dado um modelo específico, muito poucas unida-

Componentes Passivos

¹⁰Note-se que a oferta mundial de semicondutores será estudada com detalhes, conforme proposta no final deste artigo, em trabalho específico, a ser desenvolvido por consultoria especializada.

des industriais têm capacidade de abastecer o mercado mundial. Por outro lado, tradicionais fabricantes de componentes têm assumido atitudes diferenciando seus esforços segundo sejam eles passivos ou ativos. A Philips aos poucos vem se desfazendo de suas plantas de componentes passivos, passando a utilizar apenas os ativos não caracterizados como *commodities*. Já a Siemens segmentou sua unidade de componentes em duas: a Infineon, dedicada aos ativos, e a Epcos, uma associação com a Matsushita para atuação no mercado de passivos.

As 10 maiores fabricantes mundiais de componentes passivos em 2000 são apresentadas na Tabela 4, onde estão discriminados também os segmentos em que atuam.

Tabela 4

Componentes Passivos: Principais Fabricantes Mundiais

POSIÇÃO	EMPRESA	ORIGEM	VENDAS (US\$ Bilhões)	SEGMENTOS DE ATUAÇÃO
1	Murata	Japão	1,57	Capacitores Cerâmicos, Filtros e Termistores
2	Epcos	Alemanha/Japão	1,35	Todos
3	Matsushita	Japão	1,35	Todos
4	TDK	Japão	0,99	Capacitores Cerâmicos, Indutores e Ferrites
5	Vishay	Estados Unidos	0,99	Todos
6	AVX	Estados Unidos	0,90	Todos
7	Taiyo Yuden	Japão	0,81	Todos
8	Kemet	Estados Unidos	0,72	Capacitores Cerâmicos e de Tântalo
9	Chemi-Com	Japão	0,72	Capacitores Eletrolíticos de Alumínio
10	Nichicon	Japão	0,67	Capacitores e Termistores

Fonte: Epcos.

Mercado Brasileiro

O mercado brasileiro de componentes para a indústria eletrônica é suprido, de maneira geral, pela importação, e tais componentes são, então, montados em equipamentos e subconjuntos. Entretanto, é razoável que no dimensionamento da demanda brasileira de componentes sejam também computados os componentes que não figuram nas estatísticas oficiais por acharem-se “embutidos” em produtos importados já montados, em particular as partes e peças. Como visto, a indústria eletrônica ainda está em processo de implantação no Brasil, e daí o considerável volume de subconjuntos importados para integração a equipamentos montados no país. Assim, à medida que avança a produção local de bens finais, como a que tem ocorrido em telecomunicações e informática nos últimos anos, tal substituição de importações traz consigo um maior aumento da demanda por componentes eletrônicos.

Visando subsidiar discussões prévias à instalação do Fórum de Competitividade do Complexo Eletrônico, iniciativa do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) ocorrida em dezembro de 2000, a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee) elaborou um trabalho de dimensionamento de todo esse mercado a partir de dados coletados para 1998. Desse trabalho foram extraídos dados que mostram as parcelas do mercado de componentes eletrônicos supridas por produção interna e importação, segundo o tipo de componente (Tabela 5).

As partes discriminadas no item “outros” são, na realidade, subconjuntos montados, os quais podem ser melhor avaliados em termos de seus componentes, conforme se observa na Tabela 6.

Tabela 5

Componentes Eletrônicos: Fornecimento Interno e Externo – 1998

(Em US\$ Milhões)

TIPO DO BEM	PRODUÇÃO INTERNA	IMPORTAÇÃO	MERCADO INTERNO	PARTICIPAÇÃO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA (%)
Componentes Eletrônicos	968	3.866	4.834	20,0
Semicondutores	54	1.103	1.157	4,7
Passivos	175	290	465	37,6
Cinescópios	400	372	772	51,8
Outros	339	2.101	2.440	13,9
Partes para Telecomunicações	n.i.	857	n.i.	n.i.
Partes para Informática	n.i.	673	n.i.	n.i.
Partes para Automação	n.i.	140	n.i.	n.i.
Partes para Imagem e Som	n.i.	128	n.i.	n.i.
Circuitos Impressos	n.i.	120	n.i.	n.i.
Eletrônica Embarcada	n.i.	53	n.i.	n.i.
Transdutores	n.i.	51	n.i.	n.i.
Conectores para CI	n.i.	42	n.i.	n.i.
Agregados de Componentes	n.i.	33	n.i.	n.i.
Soquetes	n.i.	4	n.i.	n.i.

Fonte: Abinee.

Tabela 6

Componentes Eletrônicos: Distribuição segundo o Uso Final

(Em US\$ Milhões)

PARTES	VALOR DA IMPORTAÇÃO (1)	COEFICIENTE DE COMPONENTES (2)	COEFICIENTE DE SEMICONDUCTORES (3)	VALOR DOS SEMICONDUCTORES (4 = 1*2*3)	VALOR DE OUTROS COMPONENTES (5 = 1*2-4)
Para Telecomunicações	857	0,55	0,70	330	141
Para Informática	673	0,55	0,70	259	111
Para Automação	140	0,30	0,70	29	13
Para Imagem e Som	128	0,55	0,55	39	32
Total				657	297

Fonte: Abinee.

Consolidando-se as Tabelas 5 e 6, e sabendo-se que a fabricação nacional de “outros” não compreende partes (ou subconjuntos) de equipamentos, é possível chegar a um mercado total de componentes eletrônicos, em 1998, da ordem de US\$ 3,7 bilhões. Desses componentes, os mais críticos são os semicondutores, seja pela sua crescente importância dentro do complexo eletrônico como um todo, seja pelo valor do seu mercado, que, naquela ocasião, era de US\$ 1,8 bilhão – metade do mercado total.

Em 1999 a Abinee levantou alguns novos dados sobre a evolução das importações de componentes, embora sem novamente dimensionar esse mercado no país. Os dados referentes aos componentes eletrônicos especificamente podem ser vistos na Tabela 7. É fácil verificar que o mercado de componentes continua em franca expansão, sendo esse movimento sustentado por importações, já que não tem havido alterações significativas na oferta interna.

Vale observar, ainda, na Tabela 5, a pequena participação da indústria brasileira no mercado de componentes eletrônicos, que em 1998 foi inferior a US\$ 1 bilhão e ainda mais reduzida nos segmentos de maior dinamismo tecnológico.

A grande heterogeneidade dos componentes eletrônicos enseja que a análise do mercado brasileiro deva ser segmentada, de acordo com as diferentes classes de componentes, o que será feito a seguir para os dois principais itens.

Tabela 7
Componentes Eletrônicos: Evolução da Demanda Interna – 1996/2000
 (Em US\$ Milhões)

TIPO DE COMPONENTE	1996	1997	1998	1999	2000 ^a
Semicondutores	1.007	1.156	1.103	1.189	1.570
Passivos	330	369	290	286	369
Cinescópios	517	511	371	268	399
Outros					
Partes para Telecomunicações	647	832	857	1.097	1.092
Partes para Informática	567	563	673	666	722
Partes para Automatização	101	127	140	120	109
Partes para Imagem e Som	495	325	128	99	92
Circuitos Impressos	91	109	120	139	176
Eletrônica Embarcada ^b	324	453	355	325	342
Transdutores	53	63	51	44	54
Conectores para CI	19	31	42	44	54
Agregados de Componentes	29	45	33	27	30
Soquetes	8	6	4	3	3

Fonte: Abinee.

^aDe janeiro a outubro.

^bInclui partes eletromecânicas.

Em trabalho elaborado para subsidiar as discussões no âmbito do Fórum de Competitividade do Complexo Eletrônico do MDIC, a Eletros apresentou uma estimativa da demanda brasileira de semicondutores em 1998 e a sua projeção para 2001. Foram analisados separadamente os segmentos de consumo, telecomunicações, informática e automotivo. Tais estimativas foram bastante conservadoras, na medida em que consideraram apenas o mercado formal, sem incluir, por exemplo, a enorme parcela da informática denominada *gray market* – hoje estimada em mais de 50% do mercado total. No Anexo 1 podem ser vistas as demandas para cada segmento, discriminadas por tipo de produto, estando seus totais consolidados na Tabela 8.

Essas estimativas são coerentes com os dados de balança comercial apresentados no item a seguir, através dos quais, a partir de estatísticas disponibilizadas pela Secex, se pode calcular o déficit de semicondutores em 1998 como superior a US\$ 1 bilhão e a US\$ 2 bilhões em 2000. Verifica-se um crescimento desse déficit da ordem de 100% em três anos, o que mostra ser bastante provável a estimativa da Eletros para 2001.

A demanda estimada pela Eletros mostra algumas diferenças, pois se refere aos semicondutores utilizados na produção brasileira de equipamentos e subconjuntos, considerando assim os componentes a serem montados e aqueles que, sob a forma de partes completas, são agregados a equipamentos produzidos no país.

A oferta de semicondutores no Brasil é extremamamente limitada. De acordo com os dados fornecidos pela Abinee, em 1998 a participação da indústria brasileira nesse segmento do mercado equivalia a menos de 5%. Nos anos seguintes essa situação não foi revertida, uma vez que nenhum empreendimento novo surgiu no cenário local.

As fornecedoras brasileiras são muito poucas e situam-se em nichos de mercado bem definidos. A primeira delas é a Itautec-Philco, cujo projeto, remanescente da reserva de mercado para a informática, contempla a montagem final, o encapsulamento e os

Tabela 8

Semicondutores: Demanda Interna segundo o Uso Final – 1998 e 2001

(Em US\$ Milhões)

SEGMENTO	1998	2001 ^a
Eletrônica de Consumo	191,4	214,4
Telecomunicações	417,0	578,0
Informática	756,8	1.370,2
Automotivo	122,5	248,5
Total	1.487,7	2.411,1

Fonte: Eletros.

^aProjeção.

testes finais de memórias. Estas, sob a forma de *wafers* já difundidos, são adquiridas de fabricantes internacionais e montadas em módulos, que é a forma sob a qual são comercializadas. A Itautec-Philco detém cerca de 40% do mercado nacional de módulos de memória. Sua única concorrente brasileira, que com ela divide metade do mercado formal, é a NEC, que importa as memórias prontas e com elas monta os módulos que comercializa. O restante do mercado é atendido por importações ou montagens próprias a partir de *kits*. Cabe ressaltar que trata-se aqui do mercado formal, pois existe um outro mercado de dimensões semelhantes – o *gray market*.

As outras duas empresas brasileiras no mercado de semicondutores são a Semikron e um seu *split-off*, a Aegis, ambas atuando no nicho de semicondutores discretos e, principalmente, de semicondutores de potência. O valor desse segmento de mercado, no Brasil, pode ser estimado em cerca de US\$ 20 milhões, dos quais metade corresponde à participação da Semikron. Sendo a participação da Aegis muito pequena, pode-se dizer que o restante do mercado é suprido por importações.

Vale a pena registrar a quase surpreendente permanência da Semikron no cenário brasileiro, onde está presente, como indústria, desde meados da década de 70. Naquela ocasião foi iniciada a etapa de difusão de semicondutores na empresa, permanecendo ativa até hoje. O fato de sempre ter exportado parcela significativa da sua produção – hoje equivalente a quase 40% – é considerado o grande responsável pela sua estabilidade frente às drásticas oscilações internas. A empresa atravessou três períodos especialmente difíceis em sua história: a ida da indústria de consumo para Manaus, quando enfrentou uma queda abrupta de 30% em seu faturamento; a reserva de mercado para a informática, que a fez enfrentar, como empresa de capital alemão, imensas dificuldades para continuar operando no país; e os anos recentes de desindustrialização nos segmentos eletrônicos de bens finais e subconjuntos. Esse, aliás, é atualmente o seu maior problema. Seus clientes típicos, os fabricantes de retificadores industriais e fontes de alimentação, têm desaparecido, pois, apesar da pouca complexidade dos produtos cujo peso é proporcionalmente elevado, eles vêm sendo substituídos por importações. Mesmo no caso das telecomunicações, em que todas as instalações necessitam de fontes estáveis de corrente contínua, e dos equipamentos de informática, as fontes de alimentação têm sido importadas ou começam a ser montadas a partir de *kits*. Poucas empresas brasileiras permanecem ativas, podendo ser citada como grande cliente a fabricante de acionamentos industriais Weg. A Semikron perde, assim, acesso ao mercado, que existe, mas cujas regras extrapolam a competitividade da oferta.

Em que pese o valor das empresas citadas, vê-se que, para a majoritária e mais dinâmica parcela do mercado brasileiro de semicondutores, ou seja, a dos CIs, à exceção da Itautec-Philco, não existe qualquer oferta local.

Atualmente, atuam no mercado brasileiro três grandes fabricantes de componentes passivos. O maior investimento local pertence à Icotron, empresa do grupo Epcos (Siemens e Matsushita), que chegou a fabricar no Brasil semicondutores de potência a partir da difusão e a encapsular transistores e circuitos integrados analógicos. Contudo, pelos mesmos problemas já citados – restrições da reserva de mercado a empresas estrangeiras e abetura abrupta da economia brasileira na década de 90 –, a empresa restringiu-se a fabricar capacitores eletrolíticos e de filme plástico, que já produz há mais de 20 anos. Pertencendo a um dos maiores grupos especializados em componentes passivos no mundo, a Icotron ressentiu-se da falta de uma política industrial que justifique o investimento, no país, em plantas de passivos com tecnologias mais modernas, como, por exemplo, componentes cerâmicos ou capacitores de tântalo. A Icotron, que também utiliza o recurso de exportar quase metade de sua produção como fator de estabilidade, possui uma participação no mercado brasileiro de passivos ao redor de 20%, embora seja a única em seu segmento de atuação. O restante do mercado é atendido pela importação de partes e, principalmente, de *kits*, já que a legislação brasileira que incentiva a fabricação local de equipamentos eletrônicos exige apenas a montagem final dos produtos. Configura-se, novamente, um sério problema de acesso a mercado.

As outras duas grandes fabricantes de passivos no país, ambas dedicadas ao enfitamento de capacitores cerâmicos SMD, são a Murata e a AVX, hoje do grupo Kyocera. É importante ressaltar que o enfitamento nada mais é do que a colocação de capacitores que chegam prontos ao Brasil, a granel, em um suporte de papel adesivo para que esses componentes possam ser manuseados por máquinas automáticas para montagem de placas de circuito impresso.

O mercado de capacitores cerâmicos é estimado por essas empresas em três bilhões de peças por ano, dos quais metade é cativo, ou seja, não é acessável. De qualquer forma, um mercado anual de 1,5 bilhão de peças está muito além da atual capacidade produtiva das duas empresas, que juntas devem alcançar menos de 5% desse número. Localizadas na Zona Franca de Manaus e alegando problemas de escala, ambas estão solicitando uma revisão do PPB, pois ele as obrigaria, ainda neste ano, a verticalizar a produção.

O desempenho do complexo eletrônico em 2000, em termos de comércio exterior, vem consolidando uma tendência observada em anos recentes, isto é, a diminuição relativa das importações de produtos acabados, o aumento de suas exportações e o crescimento relativo das importações de componentes, mantendo-se ainda, nesse item, inexpressivas as exportações. A Tabela 9 apresenta os valores relativos a cada setor do complexo no período 1996/2000.

Componentes Passivos

Balança Comercial: Desempenho em 2000

O Complexo Eletrônico

Tabela 9

Brasil: Balança Comercial do Complexo Eletrônico – 1996/2000

(Em US\$ Milhões)

DISCRIMINAÇÃO	1996	1997	1998	1999	2000
Importações	6.480,5	7.536,3	6.833,2	6.561,8	8.855,2
Informática	1.454,3	1.461,3	1.511,0	1.426,7	1.806,3
Eletrônica de Consumo	1.037,1	1.048,4	622,8	370,6	411,4
Telecomunicações	1.925,2	2.664,2	2.578,7	2.540,3	3.138,1
Componentes	2.063,9	2.362,4	2.120,7	2.224,2	3.499,4
Exportações	1.006,2	1.157,5	1.153,1	1.403,7	2.452,5
Informática	280,7	264,1	246,9	336,1	371,4
Eletrônica de Consumo	386,1	411,5	371,0	353,5	433,7
Telecomunicações	154,1	288,1	329,1	484,2	1.310,3
Componentes	185,3	193,8	206,1	229,9	337,1
Déficit	5.474	6.379	5.680	5.158	6.403

Fonte: Secex (agregação BNDES).

Nota: Realizado até dezembro de 2000.

A análise do comportamento dos quatro grandes setores agregados mostra a consolidação do setor de telecomunicações como o maior exportador do complexo, embora o setor de eletrônica de consumo seja o único a apresentar saldo positivo em sua balança comercial de produtos finais. Observe-se que, em ambos os casos, a utilização de insumos importados, ou seja, componentes, partes e peças, é majoritária, o que provoca efeito multiplicador no déficit da balança comercial do complexo eletrônico.

A relação importações/exportações vem mostrando uma tendência de redução no período, cuja causa principal está na vinda de produtores de bens finais para o Brasil e de algum adensamento incipiente na cadeia produtiva. Tal relação ficou próxima de 5 de 1996 a 1998 e chegou a perto de 3 em 2000. A análise dos valores absolutos do déficit será melhor compreendida quando estudada a evolução de cada setor em separado.

Merece ser destacado o caráter estrutural do déficit, na medida em que praticamente inexistente no país uma produção expressiva de componentes. Em particular, não há qualquer indústria que detenha o ciclo completo de CIs, segmento que concentra cada vez maior valor agregado dos produtos eletrônicos.

Ressalte-se ainda que os números apresentados, embora provenientes de estatísticas e agregações confiáveis, subestimam o déficit global do complexo, uma vez que a eletrônica embarcada, seja na indústria automobilística, de bens de capital ou de outros bens de consumo, não pode ser mensurada senão através de estimativas sem base teórica adequada. De qualquer forma, é geralmente aceito que a eletrônica embarcada automotiva situe-se hoje, em valor,

pouco abaixo dos US\$ 700 por veículo – estimativa da Motorola, tradicional produtora de componentes para o setor –, devendo, pois, ultrapassar US\$ 1 bilhão/ano.

Como fator de impacto do déficit comercial do complexo, é importante lembrar que seus valores vêm superando aqueles referentes ao petróleo e seus derivados, informação que não tem constado nem de análises governamentais nem da mídia em geral. Note-se que, mesmo numa conjuntura internacional desfavorável como a de 2000, em que os preços se situaram entre US\$ 25 e US\$ 30 por barril, o déficit do complexo *ainda foi superior em cerca de US\$ 1,6 bilhão*. A Tabela 10 mostra a evolução de cada déficit nos últimos cinco anos.

Enquanto com relação ao petróleo e a seus derivados existe uma política clara de busca de auto-suficiência no primeiro e de aumento de exportações no segundo, apenas recentemente verificou-se uma articulação governamental e empresarial para enfrentar o que vem a ser o problema central do complexo, embora a Abinee já venha há alguns anos propondo uma política específica para os componentes eletrônicos. Pode-se, contudo, dizer que atualmente, em boa parte, tanto o governo quanto o empresariado já se encontram mobilizados para um programa expressivo de adensamento da cadeia produtiva, que possibilite a substituição competitiva de importações e o crescimento das exportações.

A seguir, busca-se analisar as possíveis tendências de cada setor do complexo, bem como apontar algumas medidas que venham a repercutir favoravelmente na sua balança comercial.

Tabela 10

Evolução do Déficit Comercial: Complexo Eletrônico x Petróleo e Derivados – 1996/2000

(Em US\$ Milhões)

	1996	1997	1998	1999	2000
Complexo Eletrônico	5.474	6.379	5.680	5.158	6.403
Petróleo e Derivados	4.726	4.480	2.982	3.155	4.800

O ano de 2000 marcou uma reversão na tendência de queda nas vendas experimentadas pela indústria a partir de 1996, quando foi registrado um volume recorde de quase nove milhões de televisores em cores. Os principais números de 2000 apontam um crescimento médio de 31% nas vendas do segmento de imagem, em que os aparelhos de TV em cores, carro-chefe do setor, alcançaram 5,3 milhões de unidades, após atingir pouco mais de quatro milhões em 1999.

Eletrônica de Consumo

A Zona Franca de Manaus permanece como o grande pólo produtor do setor, tendo seu faturamento em 2000 estimado em US\$ 4,1 bilhões, ou 40% das vendas daquela região incentivada. Considerando-se que, fora dela, a indústria resume-se à fábrica de auto-rádios para a Ford e a alguns produtores de alto-falantes, discos, fitas e CDs, um valor total de vendas da ordem de US\$ 4,5 bilhões é uma estimativa razoável para a eletrônica de consumo no país em 2000.

Pela primeira vez nos últimos cinco anos as exportações de bens finais superaram as importações, gerando um pequeno saldo, da ordem de US\$ 22 milhões. Também pela primeira vez as exportações do segmento de imagem – basicamente televisores – alcançaram valores de alguma expressão, de cerca de US\$ 164

Tabela 11

Brasil: Balança Comercial de Eletrônica de Consumo – 1996/2000

(Em US\$ Milhões)

DISCRIMINAÇÃO	1996	1997	1998	1999	2000
Importações	1.037,1	1.048,4	622,8	370,6	411,4
Áudio	293,6	366,2	254,6	146,3	149,4
Alto-Falantes	43,4	49,8	39,1	31,6	43,2
Sistemas de Som	34,3	44,5	31,8	15,5	24,0
Auto-Rádios	36,4	50,7	39,4	25,7	25,0
Outros de Áudio	179,5	221,2	144,2	73,4	57,2
Vídeo	137,3	205,7	126,1	44,0	70,4
Videocassetes	25,4	20,3	15,5	6,3	9,0
Televisores	95,8	156,4	83,4	12,3	10,3
Equipamentos para Estúdio e Outros de Vídeo	16,2	29,0	27,2	25,3	51,0
Discos, Fitas e CDs	120,4	121,9	84,2	62,3	53,3
Partes e Peças	485,8	354,6	157,9	118,0	138,3
Exportações	386,0	411,6	371,1	353,5	433,8
Áudio	366,6	388,5	324,8	261,9	248,6
Alto-Falantes	8,1	9,7	9,4	9,2	9,2
Sistemas de Som	0,4	0,1	–	0,5	1,3
Auto-Rádios	357,2	377,9	311,7	248,2	230,2
Outros de Áudio	1,0	0,7	3,6	4,0	7,9
Vídeo	1,7	7,0	25,7	65,8	164,8
Videocassetes	–	–	0,1	3,2	8,6
Televisores	1,7	6,0	25,1	62,4	155,6
Equipamentos para Estúdio e Outros de Vídeo	–	1,0	0,5	0,2	0,5
Discos, Fitas e CDs	17,0	15,3	19,8	25,4	20,0
Partes e Peças	0,7	0,8	0,8	0,4	0,4
Saldo/(Déficit)	(651,1)	(636,8)	(251,7)	(17,1)	22,4
Crescimento em Relação ao Ano Anterior	–	(2)	(60)	(93)	(231)

milhões, o que pode representar uma mudança de política comercial de alguns fabricantes internacionais, além, é claro, do alcance de custos competitivos. O segmento de áudio ainda é fortemente concentrado, no que tange às exportações, no fabricante de auto-rádios para a Ford.

Deve-se observar que os números da Tabela 11 referem-se tão-somente aos bens finais. Os componentes eletrônicos de uso genérico – capacitores, resistores, diodos, transistores e CIs – utilizados no setor são, via de regra, importados. As placas de circuito impresso são majoritariamente produzidas internamente, assim como os cinescópios nas dimensões de 14 e 20 polegadas, além de componentes magnéticos e plásticos.

Merece ser observado também o potencial de exportações da Zona Franca de Manaus para os países do Pacto Andino, região que concentra uma população duas vezes maior que a do Mercosul – excetuando-se o Brasil, é claro – e que vem sendo atendida por produtos do México e do Extremo Oriente.

A partir de 1999 o déficit voltou a apresentar significativa taxa de crescimento, destacando-se entre os itens mais importados, com mais de 50% do total em 2000, unidades de disco rígido, partes e peças. Tal comportamento denota a continuidade na política de importação de *kits*, em que a agregação de valor local pode ser considerada ainda pequena, prática que ocorre em função da ausência de uma indústria nacional de componentes eletrônicos, partes e peças. Confirmando essa tese, verifica-se que na pauta de exportações prevalecem itens acabados ou bens finais, com os computadores, em 2000, também correspondendo a mais de 50% do total.

Uma vez que os principais insumos para o setor de informática precisam ser importados e dadas as perspectivas de aumento no consumo desses produtos em função da difusão cada vez maior da microinformática e da automatização, com a ampliação da base de computadores ligados à internet, sem falar nas tecnologias nascentes que deverão trazer a convergência entre telecomunicações e informática (TV digital e a nova geração da telefonia celular, a curto/médio prazos, por exemplo), pode-se esperar um agravamento na situação da balança comercial de informática no Brasil. Assim, tornam-se necessárias ações, especialmente no âmbito governamental, que possam viabilizar uma indústria local de componentes, partes e peças. Além disso, como não existem *players* brasileiros, é preciso atrair fabricantes globais, pois a escala mínima de produção é bastante elevada, o que pressupõe grandes mercados consumidores, sendo, portanto, inviável a fabricação voltada para o atendimento exclusivo do mercado interno.

Informática

Tabela 12

Brasil: Balança Comercial do Segmento de Informática – 1996/2000

(Em US\$ Milhões)

DISCRIMINAÇÃO	1996	1997	1998	1999	2000
Importações	1.454,3	1.489,1	1.528,7	1.447,0	1.858,5
Computadores	201,2	198,9	169,4	144,6	190,7
Monitores de Vídeo	114,1	55,2	45,1	22,6	20,3
Impressoras	147,8	138,1	126,2	54,9	62,3
Unidades de Disco Rígido	166,3	194,9	198,2	215,1	261,1
Unidades de Disco Óptico	46,9	44,7	42,3	35,7	65,8
<i>Gateways e Hubs</i>	100,9	87,4	72,5	73,0	84,4
Terminais de Auto-Atendimento	6,6	2,0	7,6	12,2	0,1
Outros para Automatização de Escritórios, Bancária e Comercial	10,2	8,3	11,2	43,1	43,3
Outros Equipamentos de Informática	214,2	326,8	313,0	268,0	351,7
Partes e Peças	446,1	432,8	543,2	577,8	778,8
Exportações	280,7	267,9	247,3	336,8	374,7
Computadores	163,3	198,3	178,1	248,8	203,0
Monitores de Vídeo	7,8	3,2	11,5	21,7	62,4
Impressoras	3,8	1,0	2,6	11,7	24,1
Unidades de Disco Rígido	8,9	9,5	5,9	7,3	9,6
Unidades de Disco Óptico	0,2	1,1	0,4	0,4	0,7
<i>Gateways e Hubs</i>	7,1	0,3	1,3	0,8	1,8
Terminais de Auto-Atendimento	–	–	–	0,5	0,2
Outros para Automatização de Escritórios, Bancária e Comercial	0,5	3,2	2,1	3,3	6,4
Outros Equipamentos de Informática	8,2	17,6	17,0	13,3	27,2
Partes e Peças	80,9	33,7	28,4	29,0	39,3
Déficit	(1.173,6)	(1.221,2)	(1.281,4)	(1.110,2)	(1.483,8)
Crescimento em Relação ao Ano Anterior	8	4	5	(13)	34

Dois itens em particular causam inquietação nas análises setoriais das importações de partes e peças: gabinetes e fontes de alimentação, peças mecânicas e eletromecânicas de complexidade menor, são importados sistematicamente, o que levou a Abinee a criar um grupo de trabalho específico de fornecedores e montadores já instalados no país para aumentar as compras no mercado interno. No que tange aos discos rígidos, só resta o caminho da atração de fabricantes internacionais como Seagate, Maxtor e Western Digital, por exemplo. Espera-se que a produção interna de placas-mãe venha também a deslanchar, a partir das plantas da Itautec e da Multek (ex-Microeletrônica), capazes de produzir internamente placas multicamadas de maior complexidade.

Uma boa notícia refere-se à produção interna de cinescópios para monitores, iniciada em 2000 na unidade da Samsung Display Devices, em Manaus, em operação viabilizada pela compra

de produção futura da Samsung pela Philips. Persiste, porém, a força do chamado *gray market* nas vendas totais de computadores pessoais, que, segundo o IDC, tradicional instituto de pesquisas do complexo eletrônico, continua a superar 50%. Ou seja, apesar do adensamento obtido nos cinescópios e, por conseqüência, nos monitores, cerca de 1,5 milhão de computadores são montados no país no mercado não-formal – embora com parcelas crescentes de monitores já produzidos internamente.

No setor de *hardware* para telecomunicações persiste o crescimento observado desde 1997, quando foi iniciado o processo de privatização e decidiram instalar-se no Brasil diversos *players* globais, como Motorola, Lucent, Northern (Nortel), Harris e Nokia, entre outros. O ano de 2000 marcou a consolidação da presença de tecnologias nacionais de comutação fixa, originárias da Batik e da Zetax – anteriormente de controle nacional –, agora comercializadas pela Lucent, inclusive no exterior.

Telecomunicações

A balança comercial do setor, apesar de registrar déficit de US\$ 1,8 bilhão, alcançou exportações de US\$ 1,3 bilhão, dos quais 55% provenientes da venda de telefones celulares. A produção interna de celulares superou 13 milhões de unidades, com mais de um terço das vendas destinadas ao mercado externo. Foram ainda superadas as metas do Peste pelas operadoras, chegando-se a mais de 38 milhões de terminais fixos e 22 milhões de terminais celulares instalados. Os investimentos globais teriam chegado a US\$ 19 bilhões, segundo previsão da Anatel.

O setor de telecomunicações concentra grande parte do debate sobre a eficácia da política industrial efetiva levada a efeito pós-privatização. Houve um esforço governamental para atração de produtores internacionais de bens finais, conforme visto no início deste trabalho, e que pode ser considerado bem-sucedido. Não se conseguiu, contudo, que tal esforço fosse acompanhado pela vinda de fornecedores de partes, peças e componentes, ou seja, abriu-se um enorme mercado para os montadores sem a contrapartida de agregação de valor expressiva. A Portaria 7, emitida em 25.03.98 pelo então Ministério da Indústria, Comércio e Turismo e pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, regulamenta o PPB para as estações radiobase para a telefonia celular e figura entre as poucas iniciativas de aumento desse valor agregado, na medida em que contempla o desenvolvimento de fornecedores internos de placas de caráter repetitivo – e que, portanto, contam com escala econômica –, além das partes metalmecânicas. Outra iniciativa importante foi tomada pelo próprio BNDES, na medida em que para o financiamento às operadoras é exigida a nacionalização de pelo menos 80% da chamada infra-estrutura do sistema celular.

Tabela 13

Brasil: Balança Comercial do Segmento de Telecomunicações – 1996/2000

(Em US\$ Milhões)

DISCRIMINAÇÃO	1996	1997	1998	1999	2000
Importações	1.925,2	2.664,2	2.578,7	2.540,3	3.138,1
Terminais Telefônicos	25,4	51,3	43,4	32,0	47,3
Comutação de Voz e Dados	108,2	207,6	219,9	279,5	435,0
Multiplexação	79,8	152,8	144,3	180,1	299,7
Partes e Peças para Comutação e Multiplexação	170,0	242,4	292,7	328,6	470,2
ERBs	588,5	509,5	294,6	224,7	44,5
Telefones Celulares	–	27,3	120,6	110,4	4,7
Outros Transmissores	31,2	318,4	335,7	213,9	291,9
Outros Aparelhos de Telecomunicações	177,7	229,1	230,2	140,1	64,8
Fios, Cabos e Outros Condutores	261,0	312,6	296,1	231,9	365,2
Partes e Peças para Transmissores	483,4	613,2	601,2	799,1	914,8
Exportações	154,1	288,1	329,1	484,2	1.310,3
Terminais Telefônicos	1,3	6,8	8,4	13,2	17,8
Comutação de Voz e Dados	19,2	26,1	12,3	30,9	16,3
Multiplexação	15,2	49,8	27,0	8,6	7,5
Partes e Peças para Comutação e Multiplexação	22,2	17,1	28,6	31,2	71,8
ERBs	7,1	0,2	5,3	43,5	161,6
Telefones Celulares	–	84,7	104,2	188,2	717,0
Outros Transmissores	1,8	7,1	37,0	48,8	70,0
Outros Aparelhos de Telecomunicações	6,9	16,1	29,3	16,0	12,0
Fios, Cabos e Outros Condutores	64,5	60,7	56,6	72,9	117,6
Partes e Peças para Transmissores	15,9	19,5	20,4	30,9	118,7
Déficit	(1.771,1)	(2.376,1)	(2.249,6)	(2.056,1)	(1.827,8)
Crescimento em Relação ao Ano Anterior	44	34	(5)	(9)	(11)
Crescimento em Relação a 1992	588	823	774	699	610

Fonte: Secex (agregação BNDES).

Nota: Realizado até dezembro de 2000.

Componentes

O aspecto mais notável do déficit na balança comercial de componentes eletrônicos é, sem dúvida, o seu caráter estrutural, decorrente da quase inexistente fabricação interna desses produtos. Isso pode ser comprovado pela análise da balança do complexo eletrônico em 1999 e 2000, cujo aumento do déficit no período (US\$ 1.164 milhões) foi quase idêntico ao registrado pelo setor de componentes (US\$ 1.139 milhões). Assim, o déficit do complexo, excluindo-se os componentes, teria permanecido estável de 1999 a 2000, o que pode ser atribuído à alteração na política cambial ocorrida em 1999. O déficit de componentes, exatamente por ser estrutural, não foi afetado pela desvalorização do real, tendo crescido 58% de 1999 a 2000.

Embora o desempenho dos vários segmentos do setor tenha sido diferenciado, os de maior relevância registraram acentuada deterioração no que diz respeito ao comércio exterior, o que é particularmente verdadeiro para os semicondutores, cujo déficit cresceu de 80% (discretos) a 114% (integrados) de 1996 a 2000. A situação dos CIs é especialmente grave, pelos seguintes motivos:

- trata-se dos componentes de maior peso nas importações (50% do setor e 20% do total do complexo);
- a produção interna é nula; e
- a tendência de longo prazo é de aumento da participação desses componentes no valor dos produtos eletrônicos.

Note-se que a incipiente produção de cinescópios para monitores já se reflete positivamente. Contudo, a tendência de maior penetração nos lares de televisões de tela maior (acima de 29 polegadas), que, segundo a indústria, situa-se entre 15% e 20% do

Tabela 14

Brasil: Balança Comercial do Setor de Componentes – 1996/2000

(Em US\$ Bilhões)

DISCRIMINAÇÃO	1996	1997	1998	1999	2000
Importações	2.063,9	2.334,6	2.103,0	2.203,9	3.447,2
Capacitores	128,3	133,6	101,9	119,4	199,3
Resistores	69,0	83,6	74,5	68,4	94,4
Diodos e Transistores (Semicondutores Discretos)	186,7	198,6	215,6	254,5	354,3
Circuitos Impressos	90,1	108,6	119,4	139,1	217,3
Circuitos Integrados	809,6	940,7	866,5	1.059,5	1.706,6
Cinescópios e Válvulas	532,8	522,2	392,9	286,3	507,0
Dispositivos de Cristal Líquido	18,3	19,9	24,8	67,6	120,9
Outros Componentes	229,1	327,4	307,4	209,1	247,4
Exportações	185,3	190,0	205,7	229,2	333,8
Capacitores	35,9	35,3	36,4	31,0	39,7
Resistores	23,1	24,6	20,8	18,9	18,2
Diodos e Transistores (Semicondutores Discretos)	4,8	7,4	12,3	7,6	9,2
Circuitos Impressos	17,7	20,2	13,5	12,3	18,7
Circuitos Integrados	8,8	7,8	5,8	6,1	41,5
Cinescópios e Válvulas	78,7	82,5	102,2	134,6	180,3
Dispositivos de Cristal Líquido	–	–	0,5	1,9	0,6
Outros Componentes	16,3	12,2	14,2	16,8	25,6
Déficit	(1.878,6)	(2.144,6)	(1.897,3)	(1.974,7)	(3.113,4)
Crescimento em Relação ao Ano Anterior	20	14	(12)	4	58
Crescimento em Relação a 1992	336	398	340	358	623

Fonte: Secex (agregação BNDES).

Nota: Realizado até dezembro de 2000.

total de aparelhos vendidos em ano 2000, torna conveniente a retomada do debate sobre a produção interna desses cinescópios. Talvez os fabricantes de vidro estejam aguardando maior clareza com relação à TV digital para implementar novas unidades já voltadas para os formatos de tela na proporção 16 x 9, ao invés da atual 4 x 3.

Por último, sobressai a elevação continuada do déficit de placas de circuito impresso nuas, fato que decorre da crescente expansão da utilização de placas multicamadas, notadamente para computadores pessoais – placas-mãe e para telefonia celular.

A Questão do Financiamento e a Ação do BNDES

Desde o início das discussões preparatórias para instalação do Fórum da Competitividade do Complexo Eletrônico, a questão do financiamento tem sido apontada como de grande relevância, não só pelas entidades empresariais de representação setorial, mas também pelos diversos organismos governamentais ali representados. Pode-se mesmo afirmar que, sem a adequação dos mecanismos de apoio financeiro existentes, será comprometido todo o esforço ora empreendido pelos diversos atores dos setores público e privado no sentido de melhorar a balança comercial do complexo eletrônico.

Os focos de ação ali mencionados – e que foram praticamente motivo de consenso – apontavam, principalmente, para três vertentes, todas aplicáveis à implantação e ao desenvolvimento do setor de componentes no país:

- financiamento à comercialização de componentes produzidos no Brasil, de forma a proporcionar condições competitivas com as das compras internacionais (*tradings* e bancos oficiais externos);
- financiamento à expansão, modernização e capacitação tecnológica de plantas ou empresas já existentes no país; e
- financiamento à implantação de novas unidades industriais/empresariais que dessem resposta, de forma competitiva, aos crescentes déficits da balança comercial de componentes.

No conceito mais amplo de *apoio financeiro*, a participação no capital de novas empresas pode ser fator decisivo, principalmente para a atração de empreendimentos globais.

O principal ente financeiro no Brasil, para o alcance dos objetivos mencionados, é certamente o Sistema BNDES – o próprio Banco, a BNDESPAR e a FINAME.

A seguir são apontadas algumas reivindicações da indústria que, como já mencionado, obtiveram o consenso das instâncias

técnicas governamentais representadas nas discussões do Fórum e que, acredita-se, poderão gerar resultados práticos, em prazo relativamente curto, para o fortalecimento da produção de componentes no país.

Essa proposta, já nomeada uma vez de FINAME Componentes, visa financiar a comercialização de componentes *selecionados* produzidos no país. Tal operação, a cargo da FINAME, contemplaria a criação de um cadastro para alguns componentes-chave, produzidos no país, em que o tomador do empréstimo seriam algumas indústrias montadoras locais, com linhas de crédito pré-aprovadas, de acordo com o risco da empresa e a participação no mercado.

Financiamento à Comercialização

O prazo de liquidação de cada operação deverá ser compatível com os oferecidos no mercado internacional de componentes, atualmente da ordem de um ano. Um problema a resolver, contudo, seria o da garantia de cada operação – no caso dos equipamentos, a garantia aceita pela FINAME é sua própria alienação fiduciária.

A título de exemplo, é transcrita a seguir cláusula específica sobre o tema, constante de *Protocolo de Intenções* firmado pelo BNDES com o consórcio formado pelas empresas Itaotec, Gradiente e CCE, no esforço para a atração de fabricante de cinescópios para monitores de vídeo para microcomputadores e para televisores de tela grande, ao final de 1997:

“CLÁUSULA SEXTA

O BNDES abrirá uma linha de crédito às empresas consorciadas destinada ao financiamento de giro para aquisição de cinescópios e tubos para monitores de vídeo junto ao fabricante internacional que vier a se instalar no país, no valor de até 100% (cem por cento) do montante da referida aquisição, com prazo total (incluindo carência e amortização) de até 12 (doze) meses, e com *spread* total de até 5,0% (cinco por cento) ao ano, compreendendo até 2,5% (dois e meio por cento) o valor denominado básico e de até 2,5% (dois e meio por cento) a parcela referente à classificação de risco, acima do custo de captação do BNDES (Taxa de Juros de Longo Prazo – TJLP, ou cesta de moedas, ou a variação do dólar norte-americano acrescida da taxa *libor*), em consonância com as Políticas Operacionais vigentes.

PARÁGRAFO ÚNICO – A garantia dos financiamentos mencionados no *caput* desta Cláusula será constituída mediante caução ou cessão de recebíveis ou, ainda, qualquer outra modalidade de garantia julgada, pelo BNDES, adequada para a operação.”

Apoio Financeiro para Atração de Empreendimentos

No caso da implantação de empreendimentos julgados relevantes pelo governo para fortalecimento do setor de componentes, o Sistema BNDES poderá prover, além do financiamento, participação acionária adequada para sua viabilização. Novamente, torna-se conveniente a adoção de condições especiais, a exemplo daquelas oferecidas para o empreendimento de cinescópios retromencionado – também constantes do referido *Protocolo de Intenções*.

Assim, o financiamento poderia chegar a 80% do valor total, com prazo de até 10 anos e *spread* total de até 3,5%. No tocante à participação acionária, era prevista a participação da BNDESPAR em até 20% do investimento total, sendo que as ações ou debêntures, se convertidas, não poderiam representar mais do que 33% do capital social da emitente.

Como apoio financeiro complementar, era previsto ainda o financiamento à comercialização de parte da produção no exterior, pela FINAME, que refinanciaria o exportador no montante de até 100% do valor da exportação, com prazo de até 12 meses e custo financeiro constituído pela variação do dólar acrescida da taxa *libor* mais 1% ao ano, além do *spread* de risco de até 2,5%.

Conclusões e Recomendações

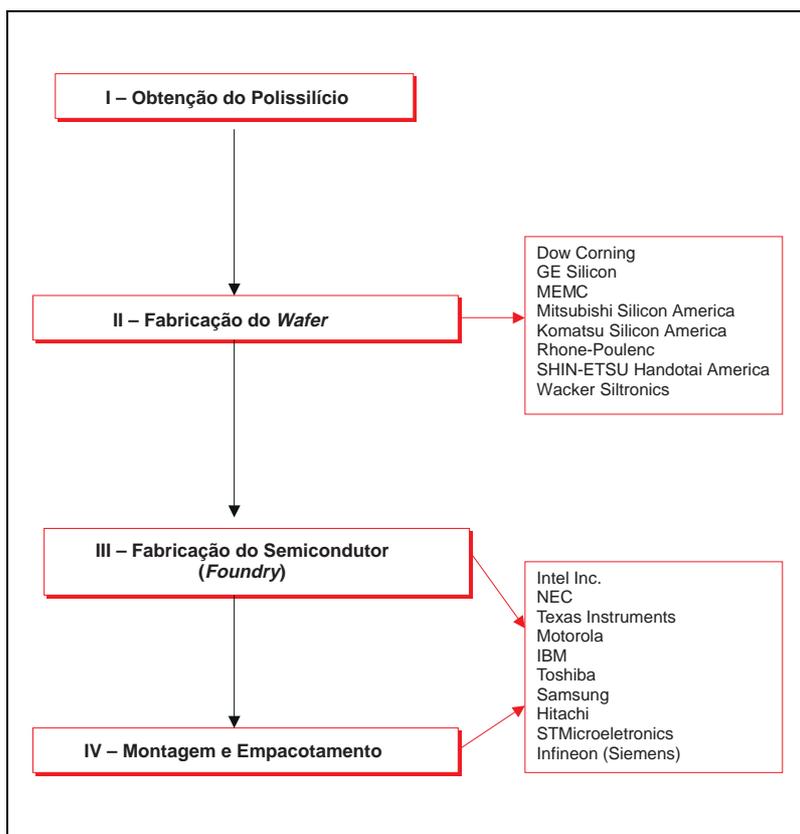
O problema central do complexo eletrônico está na sua balança comercial, sem solução conjuntural à vista, ou seja, condições de mercado, simplesmente, não irão resolver o problema do déficit crescente. Cabe, ao contrário, uma ação governamental articulada no sentido de atrair novos fornecedores, muitos certamente de âmbito global.

O principal foco de atuação deverá ser o segmento de CIs, certamente o de maior dinamismo e complexidade e cuja demanda total já alcança mais de 70% do volume total de componentes eletrônicos em nível mundial.

Ainda que a atuação de balcão ou de oportunidades localizadas seja também desejável, é necessária a realização de estudo internacional, a ser realizado por consultoria de tradição no setor – e com âmbito de atuação também global –, no sentido de *identificação e priorização de investimentos a serem atraídos*. Tal tarefa é perfeitamente possível, na medida em que se está falando de um público-alvo de cerca de poucas dezenas de fabricantes internacionais, todos praticamente regidos por planos estratégicos de negócios, em que os investimentos em geral, da ordem de centenas ou mesmo bilhões de dólares, são planejados com a necessária antecedência.

Na etapa de *priorização*, um dos principais fatores a serem considerados é o balanço de divisas de cada empreendimento – e não só a balança comercial –, assim como a sua maior ou menor inserção na cadeia produtiva e tecnológica do país. Numa segunda etapa, um comitê governamental de alto nível, provavelmente contando com a participação de ministros, secretários executivos e diretoria de órgãos como o BNDES, buscaria a atração desses investidores, negociando sua instalação no Brasil e, inclusive, apontando para soluções fiscais e de *funding* adequadas.

Um último ponto refere-se à importância de cada etapa na produção de CIs: é recomendável a busca do ciclo completo de fabricação no Brasil, pois apenas as etapas chamadas de *back end* (encapsulamento e testes) ou a realização do projeto no Brasil não garantirão necessariamente a superação de problemas na balança comercial, tendo em vista que a etapa de processamento físico-químico (hoje representada principalmente pela chamada *difusão*) responde, seguramente, pela maior parcela de valor agregado.

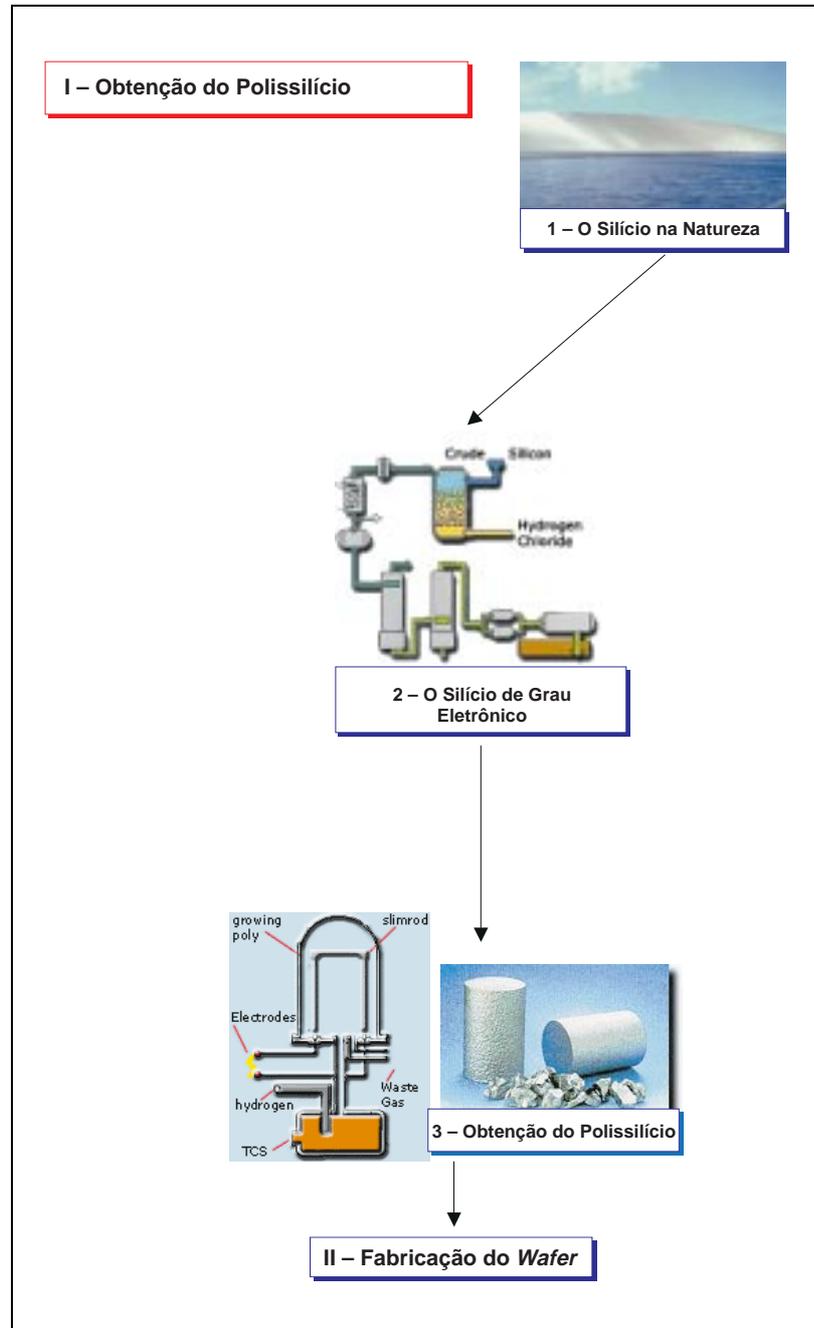


Anexo 1. O Processo de Manufatura do Semicondutor

Obtenção do Polissilício

O Silício na Natureza

Todos que andam por uma praia já observaram que alguns grãos de areia brilham sob a luz do sol. Essas partículas são conhecidas como areia de quartzo, ou dióxido de silício, a matéria-prima para a fabricação do *wafer*.



O silício é o segundo elemento mais abundante na terra, pois mais de 90% da crosta terrestre são compostos de sílica e silicato. Com o suprimento praticamente ilimitado, o grande problema é a sua transformação em matéria-prima utilizável para o processo de manufatura do semicondutor.

Em essência, o silício deve ser submetido a um processo extenso de destilação e purificação para atingir um estado ultrapuro e, dessa forma, ter o aproveitamento de sua característica semicondutora.

O Silício de Grau Eletrônico

O dióxido de silício obtido da natureza é derretido e submetido a uma série de reações em um forno com temperaturas entre 1.500°C e 2.000°C para a produção do silício de grau eletrônico, com pureza de até 99,9%. Essa operação demanda uma grande quantidade de energia (aproximadamente 45% do custo).

Obtenção do Polissilício

A criação do silício policristalino bruto se dá através de reações físico-químicas em um forno de reação utilizando o silício de grau eletrônico, permitindo que o polissilício cresça na superfície de camadas de metal de tântalo eletricamente aquecidas. A pureza apurada nesse processo chega a 99,9999%.

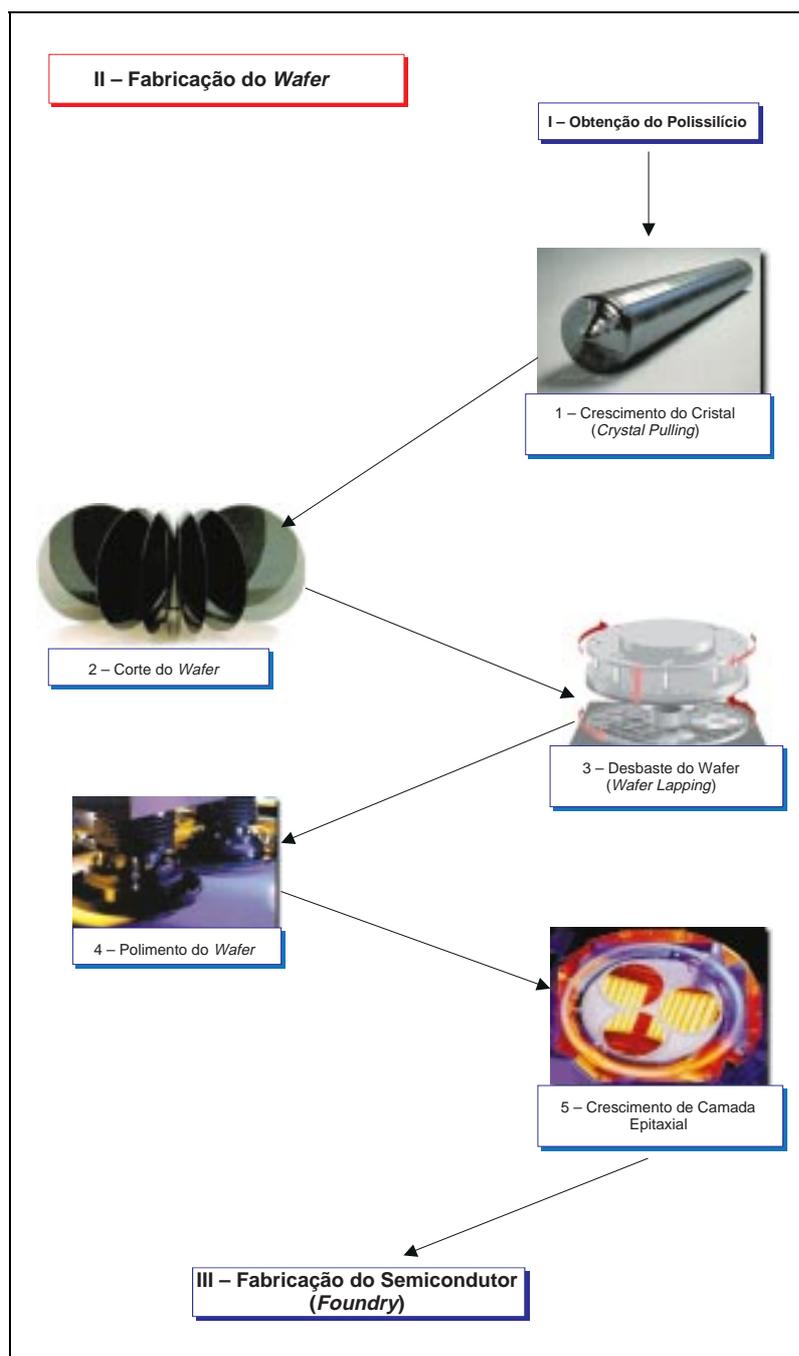
O silício policristalino tem cristais orientados de forma randômica. Dessa forma, não apresenta as características elétricas para a fabricação de dispositivos semicondutores e, portanto, deve primeiramente ser transformado em um cristal de silício único através do processo chamado de “crescimento do cristal”.

Crescimento do Cristal

O silício policristalino de alta pureza é dopado com elementos e derretido a 1.400°C. Posteriormente, é resfriado a uma determinada temperatura, quando uma “semente” de cristal de silício único é colocada dentro do silício derretido e vagarosamente rotacionada enquanto é puxada. A tensão superficial entre a semente e o silício derretido faz com que parte do líquido cresça com a semente em um lingote cristalino com a mesma orientação eletrônica da semente.

O diâmetro do lingote é determinado pela combinação da temperatura e velocidade de extração. A maior parte dos lingotes produzidos tem o diâmetro de 150 mm (6”) e 200 mm (8”), porém

Fabricação do Wafer



algumas indústrias já desenvolvem lingotes com diâmetros de 300 mm (12") e 400 mm (16").

Corte do Wafer

Os lingotes de silício são caracterizados pela orientação dos seus cristais. Antes de serem cortados em *wafer*, uma ou duas

superfícies planas são marcadas para definir a sua orientação. Posteriormente, são cortados de forma precisa e controlada em fatias individuais, utilizando sistemas de corte de alta precisão.

Desbaste do *Wafer*

O desbaste do *wafer* é feito por equipamentos específicos, visando tornar a sua superfície mais plana e paralela, e por um processo de redução de defeitos mecânicos, tais como marcas de corte. Adicionalmente, são submetidos a soluções químicas para remover fraturas microscópicas e outros defeitos de superfície.

Polimento do *Wafer*

Os *wafers* são polidos por meio de uma série de operações químicas e mecânicas. O processo de polimento normalmente é realizado em duas ou três etapas intermediadas por limpeza química.

Crescimento de Camada Epitaxial

O objetivo desse processo é a criação de uma camada com uma concentração de dopantes eletronicamente ativos sobre o *wafer*. Dessa forma, obtém-se uma camada tipo *n* (negativa) ou tipo *p* (positiva).

Camada de Óxido

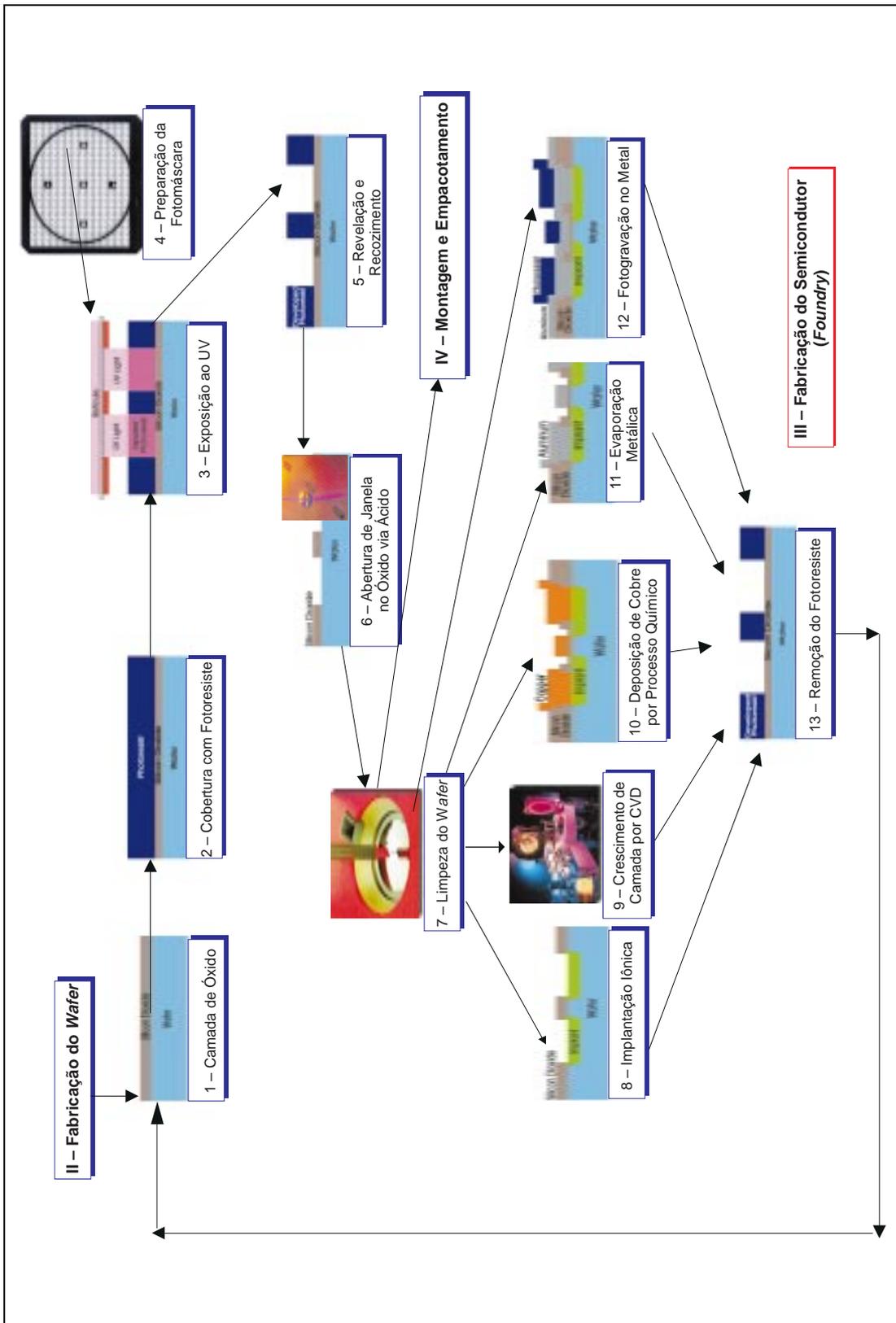
Esse processo cria uma fina camada de dióxido ou óxido de silício sobre o substrato, através da exposição do *wafer* a uma mistura de hidrogênio e oxigênio altamente puro numa temperatura de aproximadamente 1.000°C. O óxido é utilizado para criar camadas isolantes e passivas para formar o que é conhecido como *transistor gates*.

Cobertura com Fotoresiste

Consiste na aplicação de um material fotossensitivo sobre o *wafer*, em forma líquida e em pequenas quantidades. O *wafer* é rotacionado a uma velocidade de 3.000 rpm, espalhando o material e criando uma camada uniforme com espessura entre 2 μm e 200 μm (1 μm = 10^{-6} m).

Há dois tipos de fotoresiste: o negativo e o positivo. Quando o negativo é utilizado, as partes não expostas à luz são removidas, criando uma imagem “negativa”. Este método é capaz de produzir camadas de aproximadamente 2 μm . Atualmente, porém, a maioria dos processos de produção de semicondutores utiliza fotoresiste

Fabricação do Semicondutor (*Foundry*)



positivo, no qual as partes expostas são removidas, criando uma imagem “positiva” da fotomáscara na superfície do *wafer*. Esses fotorestes são os mais adequados para a produção dos dispositivos menores, os quais têm camadas menores que 1 μm e podem chegar até 0,15 μm .

Exposição ao UV

Esse processo consiste na exposição do *wafer*, com a cobertura fotoreste, a raios ultravioletas que passam através de uma fotomáscara contendo a imagem da camada única do dispositivo. A luz ultravioleta é utilizada porque os dispositivos nos semicondutores modernos são muito pequenos, tornando o comprimento de onda da luz para a exposição um fator de limitação.

Preparação da Fotomáscara

Os semicondutores podem conter até 50 camadas de silício, polissilício, dióxido de silício e metais. O desenho de cada camada (*design*) é realizado em uma fotomáscara, a qual consiste em um substrato de quartzo com transparência ótica e com o desenho em cromo (*design* do dispositivo).

O *design* de cada camada é projetado através de *softwares* CAD (*computer aided design*). A transferência da imagem do *design* do dispositivo para a fotomáscara é realizada por fontes de *laser* ou de elétrons sobre a fotomáscara coberta por cromo sob uma camada de fotoreste.

Após a exposição, o fotoreste sensibilizado é removido quimicamente. Adicionalmente, outros processos químicos são executados para a remoção da parte do cromo não pertencente ao projeto da camada, bem como a limpeza final da fotomáscara.

Revelação e Recozimento

Após a exposição luminosa, os *wafers* são revelados em soluções químicas para a remoção das partes expostas do fotoreste. Uma vez removida parte da superfície do fotoreste, o *wafer* é cozido em forno com temperaturas baixas para endurecer as partes do fotoreste que permaneceram. Também são utilizados fornos de altas temperaturas (100°C a 450°C) para difusão, isto é, a redistribuição de dopantes sobre a superfície do *wafer*.

Abertura de Janela no Óxido via Ácido

Consiste na remoção de áreas selecionadas do *wafer* através de soluções químicas. Devido à natureza perigosa dessas soluções, e tendo como preocupação principal a segurança humana, os fabricantes utilizam equipamentos automatizados para a realiza-

ção desses processos. Além disso, o processo automático permite benefícios adicionais, como a precisão no tempo de imersão do *wafer* nas soluções químicas e sua proteção da manipulação humana.

Limpeza do Wafer

A preocupação principal na fabricação do *wafer* é a proteção contra danos e contaminação à sua superfície. Como o silício é essencialmente um vidro, a queda de um *wafer*, portanto, é um *wafer* quebrado.

A escala microscópica dos semicondutores modernos significa que a menor partícula de poeira pode destruir um circuito. Dessa forma, a manipulação por robôs e a automatização são empregadas sempre que possível.

Mesmo com todas essas precauções, os *wafers* devem ser constantemente limpos, e para isso é utilizada frequentemente uma operação chamada RES (rotação, enxágüe e secagem).

Implantação Iônica (Difusão)

A implantação iônica é diferente de outros processos sobre os semicondutores porque não cria uma nova camada no *wafer*. Ela muda as características elétricas em áreas precisas numa camada existente no *wafer*.

Um implantador de íons utiliza um tubo acelerador de alta ou média corrente ($> 3 \text{ mA}$ ou $< 3 \text{ mA}$), com magnetos de direcionamento e focagem, para bombardear a superfície do *wafer* com íons de um dopante específico. Esses íons dopantes são implantados na camada superior do *wafer*, sob a sua superfície, modificando a condutividade elétrica numa região bem determinada.

Para o isolamento elétrico de uma área, ou região tipo-*p*, é implantado um íon receptor, como o boro, o gálio e o índium. Para a condutividade elétrica de uma área, ou região tipo-*n*, é implantado um íon doador, como o antimônio, o arsênio, o fósforo ou o bismuto. Os implantadores de íons são dispositivos de alta precisão e que necessitam de extensas fundações para assegurar uma grande estabilidade para a sua operação.

Crescimento de Camada por CVD

A deposição por vapor químico – *chemical vapor deposition* (CVD) – é uma classe ampla de processos que utilizam reações químicas controladas para a criação de camadas nos *wafers*. As receitas utilizadas pelos fabricantes de semicondutores são os segredos mais bem guardados.

Deposição de Cobre por Processo Químico

Nas deposições convencionais, uma camada de metal e o fotoresiste são colocados sobre o *wafer*. Um processo químico posterior remove o metal a ser descartado nessa camada, deixando apenas o circuito desejado. Os espaços entre os fios, ou vias, são preenchidos com dióxido de silício e, finalmente, a superfície do *wafer* é polida para a remoção do excesso de isolante.

A gravação dos circuitos de cobre têm o mesmo número de passos, mas uma ordem diferente de deposição. Os fios, ou vias, são formados, inicialmente, pela fotogração do óxido de silício. Posteriormente, o metal é depositado, e o seu excesso é removido por meio de polimento.

Tanto nas gravações convencionais quanto nas de cobre o processo é repetido várias vezes para formar camadas de fios, ou vias, produzindo o sistema completo de fiação no *chip*.

Evaporação Metálica

Metais como alumínio, ouro e tungstênio são utilizados para a criação de camadas condutivas no *wafer* e geralmente aplicados utilizando dois métodos diferentes: a evaporação e a crepitação.

A evaporação utiliza o calor (tanto o de um filamento elétrico quanto o de um feixe de elétrons), além do vácuo, para vaporizar a fonte metálica. O vapor se condensa na superfície do *wafer*. Já a crepitação utiliza um plasma de argônio para bombardear a fonte metálica. As moléculas do metal são focadas por “lentes” de material absorvente de radiação, chamadas de colimador, e depositadas num filme muito fino na superfície do *wafer*.

Fotogração no Metal

Esse processo remove seletivamente partes de uma camada de alumínio para produzir circuitos condutores no *wafer*, o qual é colocado numa câmara de processamento de fotogração recebendo uma carga elétrica negativa. A câmara é aquecida a 100°C, colocada sob vácuo e preenchida com plasma eletricamente positivo. O encontro de cargas elétricas opostas provoca o rápido movimento do plasma para o alinhamento na direção vertical, formando uma espécie de ação de “jato de areia” microscópico para a remoção do alumínio exposto.

Remoção do Fotoresiste

Uma vez que o silício, o metal ou a camada silícida foi criada, o fotoresiste que sobra é removido. Isso é realizado com um procedimento conhecido como cinzamento, onde plasma em alta temperatura é usado para remover o fotoresiste de forma seletiva sem causar danos às camadas do *wafer*.

Montagem e Empacotamento

Testar e Serrar

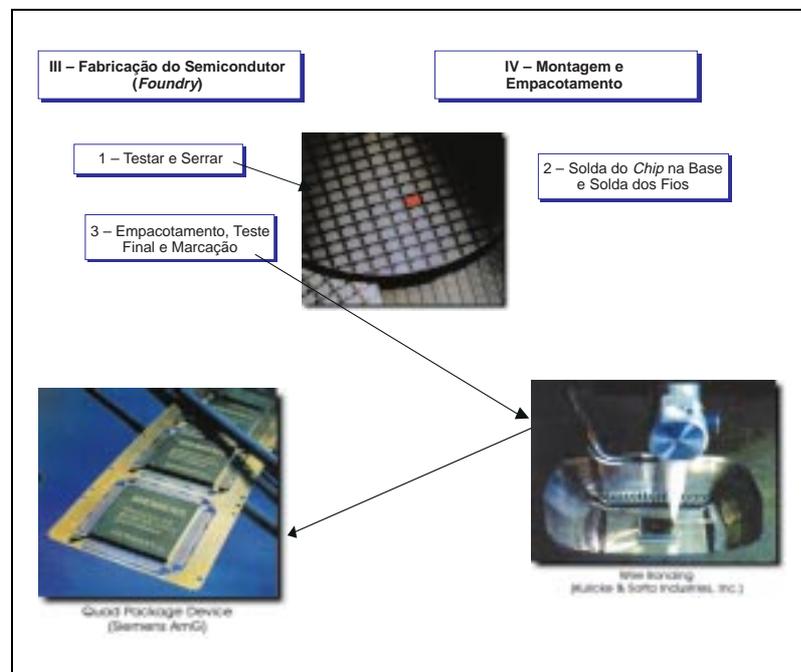
Depois que todas as camadas foram aplicadas, o *wafer* é revestido ainda com uma camada de proteção. Posteriormente, passa por um processo de afinamento para permitir uma melhor dissipação térmica e remove algumas rachaduras para evitar quebras.

Em cada *wafer* finalizado, todos os dispositivos (*chips*) – que podem chegar a centenas – são testados. O teste é realizado com agulhas de prova para estabelecer contatos com todos os pontos de conexão dos circuitos, em cada dispositivo, e avaliados o seu funcionamento e a sua operação. Os *chips* não aprovados são marcados, de forma a não seguirem para as etapas posteriores da produção.

Após a sessão de testes, o *wafer* é serrado, resultando as partes em *chips* individuais, e aqueles marcados anteriormente são descartados. A eficiência de uma fábrica de semicondutores é determinada pela razão dos *chips* funcionais sobre a totalidade dos *chips* produzidos.

Solda do *Chip* na Base e Solda dos Fios

Nesse processo, cada *chip* é soldado em uma moldura, e terminais de alumínio ou ouro são soldados por meio de pressão ou processo de solda ultra-sônica. São ainda soldados entre os termi-



nais e os conectores da moldura fios ultrafinos de aproximadamente 30 μm (1/3 do diâmetro de um fio de cabelo humano).

Empacotamento, Teste Final e Marcação

Depois da solda dos fios, o *chip* é empacotado em um dispositivo de plástico ou cerâmico. É realizado um teste final de operação e os *chips* aprovados recebem marcas que são gravadas sobre o material de empacotamento.

Anexo 2

Tabela A.1

Semicondutores no Brasil por Produto: Consumo – 1998 e 2001

PRODUTOS	1998			2001		
	Volume (Mil)	Semicondutores (US\$)	Total (US\$ Milhões)	Volume (Mil)	Semicondutores (US\$)	Total (US\$ Milhões)
TVC	4.400	11,0	48,4	5.100	11,0	56,1
TV Digital		84,0	0,0	25	84,0	2,1
VCR	1.200	12,0	14,4	1.100	12,0	13,2
DVD	100	50,0	5,0	200	50,0	10,0
Satellite Rec.	1.400	31,0	43,4	1.300	35,0	45,5
Cable Rec.	800	25,0	20,0	800	25,0	20,0
STB – Dig.		46,0	0,0	20	46,0	0,9
Audio System	2.300	16,0	36,8	2.500	16,0	40,0
CD Player	25	6,0	0,2	40	6,0	0,2
Radio Cassete	2.000	9,0	18,0	2.300	9,0	20,7
Portable Radio	500	7,0	3,5	550	7,0	3,9
Clock Radio	850	2,0	1,7	890	2,0	1,8
Total			191,4			214,4

Fonte: Eletros.

Tabela A.2

Semicondutores no Brasil por Produto: Telecomunicações – 1998 e 2001

PRODUTOS	1998			2001		
	Volume (Mil)	Semicondutores (US\$)	Total (US\$ Milhões)	Volume (Mil)	Semicondutores (US\$)	Total (US\$ Milhões)
Celular	3.000 Linhas	50,00	150,0	2.800 Linhas	74,25	207,9
Pública	3.000 Linhas	30,00	90,0	3.500 Linhas	35,65	124,8
Privada	2.000 Linhas	10,00	20,0	2.770 Linhas	10,00	27,7
ERB + Rádio	3 Equipamentos	2.000,00	6,0	5 Equipamentos	1.660,00	8,3
Dados/Pager			100,0			138,6
WLL			51,0			70,7
Total			417,0			578,0

Fonte: Eletros.

Tabela A.3

Semicondutores no Brasil por Produto: Informática – 1998 e 2001

PRODUTOS	1998			2001		
	Volume (Mil)	Semicondutores (US\$)	Total (US\$ Milhões)	Volume (Mil)	Semicondutores (US\$)	Total (US\$ Milhões)
Computadores	1.900	322,6	612,9	3.700	310,0	1.147,0
Impressoras	1.420	59,6	84,6	2.500	53,0	132,5
Calculadoras de Mesa	168	2,5	0,4	269	2,5	0,7
Calculadoras Portáteis	696	2,5	1,7	1.717	2,5	4,3
Copiadoras	44	44,2	1,9	70	44,2	3,1
Fac-Símile	63	37,5	2,4	101	42,0	4,2
ATM	8	150,0	1,2	14	240,0	3,4
Cash Dispenser	37	150,0	5,6	59	150,0	8,9
Terminal de Depósito	5	150,0	0,8	12	150,0	1,8
Terminal de Extrato/Saldo	44	157,9	6,9	18	157,9	2,8
Dispensador de Cheque	1	122,3	0,1	4	122,3	0,5
POS/PDV	106	169,7	18,0	170	169,7	28,8
PDV	48	169,7	8,1	76	169,7	12,9
Leitor de Código de Barras	28	19,4	0,5	46	19,4	0,9
Periféricos	33	19,4	0,6	53	19,4	1,0
Impressora Fiscal	48	19,4	0,9	76	19,4	1,5
Estabilizadores	570	10,9	6,2	916	10,9	10,0
No Breaks	190	19,6	3,7	305	19,6	6,0
Total			756,8			1.370,2

Fonte: Eletros.

Tabela A.4

Semicondutores no Brasil por Produto: Automotivo – 1998 e 2001

PRODUTOS	1998			2001		
	Volume (Mil)	Semicondutores (US\$)	Total (US\$ Milhões)	Volume (Mil)	Semicondutores (US\$)	Total (US\$ Milhões)
Fuel Injection	1.600	27,0	43,2	2.500	28,0	70,0
Air Bag	240	5,0	1,2	1.000	4,0	4,0
ABS	160	15,0	2,4	400	12,0	4,8
Alarm	1.600	6,0	9,6	3.000	4,5	13,5
Fuel Indicator	480	0,8	0,4	2.000	0,8	1,6
Dash Board	1.600	6,0	9,6	3.000	5,5	16,5
Immobilizer	1.360	8,0	10,9	2.500	6,0	15,0
Timers/Controls	1.600	4,0	6,4	2.000	4,0	8,0
Door Lock	800	2,3	1,8	3.000	2,3	6,9
Flasher	2.000	0,8	1,5	3.500	0,8	2,6
Wiper	1.600	1,3	2,0	3.000	1,3	3,8
Trip Comp	160	8,0	1,3	500	8,0	4,0
Clock	700	1,0	0,7	1.500	1,0	1,5
Radio	2.000	12,0	24,0	4.000	12,0	48,0
Alternator	1.600	2,5	4,0	3.000	2,5	7,5
Window Lift	640	5,5	3,5	2.500	5,5	13,8
Transmission Control				100	22,0	2,2
Electronic Steering				100	24,0	2,4
Switch Module				1.500	5,00	7,5
Lights Control				2.500	6,00	15,0
Total			122,5			248,5

Fonte: Eletros.

Referências Bibliográficas

- ABINEE (<http://www.abinee.org.br>).
- ELETROS (<http://www.eletros.org.br>).
- GAZETA MERCANTIL, diversos números.
- ICE – Integrated Circuit Engineering Corporation. *Status and Forecast*, diversos anos (<http://www.ice-corp.com>).
- IDC – International Data Corporation (<http://www.idc.com>).
- MELO, Paulo Roberto de Sousa. Complexo eletrônico: diagnóstico e perspectivas. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 10, p. 269-284, set. 1999.
- MELO, Paulo Roberto de Sousa, GUTIERREZ, Regina Maria Vinhais. Telecomunicações pós-privatização: perspectivas industriais e tecnológicas. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 8, p. 85-118, set. 1998.
- MELO, Paulo Roberto de Sousa, GUTIERREZ, Regina Maria Vinhais, ROSA, Sérgio Eduardo Silveira da. Complexo eletrônico: o segmento de placas de circuito impresso. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 7, p. 93-108, mar. 1998.
- MELO, Paulo Roberto de Sousa, RIOS, Evaristo Carlos Silva Duarte, GUTIERREZ, Regina Maria Vinhais. Os mercados de automação bancária e comercial. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 11, p. 47-70, mar. 2000.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. *Fórum de competitividade da cadeia produtiva do complexo eletrônico*. Brasília, nov. 2000.
- O GLOBO. O país do desemprego tecnológico. Caderno Economia, p. 21. Rio de Janeiro, 2 de janeiro de 2001.
- ROSA, Sérgio Eduardo Silveira. *Uma avaliação da indústria de componentes eletrônicos do Brasil*. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, mar. 2001 (Dissertação de Mestrado em elaboração).
- SUFRAMA (<http://www.suframa.gov.br>).