

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Instituto de Economia

MICROELETRÔNICA: CONSIDERAÇÕES SOBRE A NECESSIDADE E
VIABILIDADE DA INTEGRAÇÃO VERTICAL NO BRASIL

*Este exemplar
corresponde ao origi-
nal da tese defendida
pela Aluna Claudia Heller ori-
gada pelo Prof. Dr. Mario Luiz Possas
em 12.05.89.*

Claudia Heller

Dissertação de Mestrado em Economia
apresentada ao Instituto de Economia
da Universidade Estadual de Campi-
nas, sob a orientação do Professor
Mario Luiz Possas.

Campinas, 1989

H367m
v.1
10740/BC

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

A meus pais.

Agradecimentos

Muitas foram as pessoas que, de uma maneira ou de outra, me ajudaram a desenvolver esta dissertação.

Agradeço, em primeiro lugar, ao *Mario*, não apenas pela sua disponibilidade e rara atenção como orientador, mas também, pela confiança depositada, que me permitiu desenvolver e saciar minha curiosidade sobre o tema com ampla liberdade.

Quero agradecer também aos colegas do Grupo de Pesquisa em Novas Tecnologias do Instituto de Economia da UNICAMP, em particular à *Ana Lucia*, *Guida* e *Mariano* que, desde o início deste trabalho me apoiaram quase que incondicionalmente e à *Hebe Mitlag* do Instituto de Geociências da UNICAMP, pelos comentários ponderados e empréstimo de valioso material.

Gostaria de registrar também o apoio das bibliotecárias do Centro de Tecnologia para a Informática, pelo prestimoso serviço.

Agradeço ainda à FAPESP, CAPES e PNPE, que financiaram através de bolsa a elaboração desta dissertação, e à equipe do Núcleo de Estudos e Planejamento em Novos Materiais do Ministério da Ciência e Tecnologia pela boa acolhida e instigante debate.

Aos companheiros do Instituto de Letras, Ciências Sociais e Educação da UNESP, em particular os colegas do Departamento de Economia e aos meus alunos, pela estimulante curiosidade.

Ao Samuel, do Xerox, pela incrível paciência e à Cida, pelo enorme capricho e competência nos trabalhos de datilografia.

Aos bons e fiéis amigos paulistanos, que souberam perdoar meus longos "sumiços", Roberto, Ivo, Silvinha, Maysa, Cecília, Sergio, Cata, Alemão e Belik, e à Fábria, Sérgio, Jorge, Ana, Leda, José, Natália, Chico, Angela, Dominique, Claudio, Biasoto, João, Rogério, Mario, Nice, Odair, Maria, Angela, Paulo, Tereza, Lauro, Eugênia, Paulinho, Regina e Fausto, pelo carinho e amizade.

À Bá e ao Mi, por tudo.

ÍNDICE

Volume 1

Capítulo 1

INTRODUÇÃO	1
------------------	---

Capítulo 2

EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DA INDÚSTRIA MICROELETRÔNICA	18
2.1. Introdução	19
2.2. Considerações Gerais	20
2.3. A Trajetória Baseada no Silício: as Principais Tendências	28
2.3.1. Chips sub-micron	38
2.3.2. Super-chip ou Wafer-scale Integration (WSI) ..	42
2.4. As Outras Tecnologias	44
2.4.1. O "chip" de Arseneto de Gálio	45
2.4.2. O Chip Tridimensional (3-D)	47
2.4.3. Optoeletrônica	50
2.4.4. Junções Josephson e Supercondutores	53
2.4.5. Transistor Balístico	57
2.4.6. Biochip	61
2.5. Comentários Finais	62

Capítulo 3

O SETOR DE INSUMOS PARA A MICROELETRÔNICA A NÍVEL MUNDIAL	65
3.1. Introdução	66
3.2. Indústria de Equipamentos	67
3.3. Mercado de Equipamentos	75

3.4. Programas de Pesquisa	91
3.4.1. Estados Unidos	91
3.4.2. Japão	96
3.4.3. Europa	100
3.5. Indústria de Materiais de Grau Eletrônico	103
3.6. Mercado de Materiais	108
3.7. Comentários Finais	117

Capítulo 4

INSUMOS PARA A MICROELETRÔNICA NO BRASIL	123
4.1. Introdução	124
4.2. A Indústria Brasileira de Semicondutores	125
4.3. A Estratégia Brasileira para a Microeletrônica	135
4.4. A Política Nacional de Microeletrônica e a Política de Materiais	144
4.5. O Diagnóstico do Quartzo e do Silício no Brasil	166
4.6. Comentários Finais	178
CONCLUSÃO	185
BIBLIOGRAFIA	196

Volume 2

Conteúdo: Anexo Técnico

Apêndice ao Capítulo 3

Apêndice ao Capítulo 4

LISTA

Gráficos

2.1 - Curva de Aprendizado Clássica	23
2.2 - Redução da Espessura das Linhas - Tendência	29
2.3 - Densidade dos Circuitos Integrados	30
2.4 - Tendência da Elevação do Custo da Planta para Espessuras de Linhas Decrescentes	31
3.1 - Investimentos em Capital das Indústrias de Semicondutores nos Estados Unidos, Europa e Japão (1979-1985)	84
3.2 - Investimentos em Capital, em Porcentagem das Vendas, das Indústrias de Semicondutores nos Estados Unidos, Europa e Japão (1979-1985)	86
3.3 - Consumo Mundial de "wafers" de Silício para Uso em Semicondutores	109
4.1 - Consumo, Produção e Capacidade de Produção de Silício Policristalino de Grau Eletrônico a Nível Mundial (1976-1988)	174
4.2 - Capacidade Produtiva e Consumo de Silício Policristalino de Grau Eletrônico, a Nível Mundial (1978-1986)	175

Quadros

3.1. Programa VHSIC	94
3.2. Organização do Programa VLSI - Japão	97
4.1. Evolução da Indústria Produtora de Semicondutores no Brasil - 1964-1988	128
4.2. Circuitos Integrados Digitais: Etapas do Processo Produtivo Realizadas pelos Grupos Seleccionados	133
4.3. Plano Nacional do Quartzo e do Silício	161

Tabelas

2.1	- Tendência da Evolução do Tamanho da Pastilha, Resolução das Linhas, Número de Dispositivos e Tamanho da Lâmina	32
2.2	- Taxas de Rendimento para Semicondutores Selecionados - Conjunto de Estimativas, para 1979, dos Rendimentos de Dispositivos de Memória de Diferentes Complexidades e Fabricados com "wafers" de Diferentes Tamanhos com Diferentes Tecnologias	36
3.1	- Equipamentos de Processamento - Vendas Mundiais em US\$ Milhões	70
3.2	- Equipamentos de Montagem - Vendas Mundiais em US\$ Milhões	71
3.3	- Equipamentos de Teste - Vendas Mundiais em US\$ Milhões	72
3.4	- Principais Empresas Fornecedoras de Equipamentos de Produção - Vendas em US\$ Milhões	74
3.5	- Mercado Norte-Americano de Equipamentos e Componentes Eletrônicos - US\$ Milhões	77
3.6	- Mercado Japonês de Equipamentos e Componentes Eletrônicos - US\$ Milhões	78
3.7	- Mercado Europeu de Equipamentos e Componentes Eletrônicos - US\$ Milhões	79
3.8	- Mercado Mundial de Equipamentos e Componentes Eletrônicos - US\$ Milhões	80

3.9 - Produção e Consumo de Componentes Semicondutores 1980/1986 - US\$ Milhões	83
3.10 - Investimentos das Dez Maiores Empresas Norte- -Americanas e Dez Maiores Japonesas para Produ- ção de Semicondutores - US\$ Milhões	85
3.11 - Mercado Norte-Americano de Equipamentos para Pro- dução de Semicondutores - 1979/1987 - US\$ Mi- lhões	88
3.12 - Custo e Desempenho Comparativo dos Vários Siste- mas Litográficos	89
3.13 - Principais Áreas de Pesquisa e Fontes de Finan- ciamento em Microeletrônica nos Estados Unidos - Número de Pesquisas	95
3.14 - Participação das Empresas Japonesas, Norte- -Americanas e Outras em Alguns Segmentos do Mer- cado de Equipamentos - em %	98
3.15 - Mercado Japonês de Equipamentos - Produção Do- méstica e Importação - US\$ Milhões	99
3.16 - Mercado Mundial de Materiais de Grau Eletrônico - US\$ Milhões	104
3.17 - Principais Fornecedores de Silício de Grau Ele- trônico - 1980 - Capacidade de Produção em to- neladas Métricas	104
3.18 - Capacidade de Produção e Consumo de Silício Po- licristalino de Grau Eletrônico	106
3.19 - Consumo Mundial de Materiais para Produção de Semicondutores - US\$ Milhões	110

3.20 - Mercado Mundial de Substratos para "wafers" - US\$ Milhões	111
3.21 - Produção Mundial de Materiais para Produção de Semicondutores - US\$ Milhões	112
3.22 - Mercado Norte-Americano de Produtos Químicos para Semicondutores - US\$ Milhões	114
3.23 - Mercado Japonês de Produtos Químicos para Semi- condutores - US\$ Milhões	115
3.24 - Mercado Europeu e do Resto do Mundo de Produtos Químicos para Semicondutores - US\$ Milhões	116
4.1 - Mercado e Produção de Componentes Eletrônicos no Brasil - US\$ Milhões	130
4.2 - Importação de Partes e Peças para Produção de Com- ponentes Semicondutores no Brasil - US\$ Milhões .	134
4.3 - Exportações Brasileiras de Quartzo	151
4.4 - Aplicação dos Recursos - Programa Bienal de De- senvolvimento Científico e Tecnológico em Novos Materiais - 1987/1988 - Cz\$ Milhões	164
4.5 - Taxa Anual de Crescimento da Capacidade de Produ- ção e do Consumo de Silício Policristalino de Grau Eletrônico	177

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

A pergunta que deu origem a esta dissertação refere-se à necessidade e viabilidade da integração da indústria microeletrônica no Brasil, a partir do segmento produtor de insumos. Partimos da hipótese de que a evolução do paradigma tecnológico ^(1) da microeletrônica está fortemente baseada na crescente capacidade de inovação e aperfeiçoamento dos componentes microeletrônicos (redução de custos, ampliação da velocidade de comutação, da capacidade de armazenamento de dados, da confiabilidade etc.) ^(2). Estes, por sua vez, dependem fundamentalmente dos avanços obtidos nos segmentos produtores de materiais de grau eletrônico e de equipamentos de produção de componentes (redução de custos, elevação da pureza dos materiais, da confiabilidade e desempenho dos equipamentos, etc) ^(3). Isto significaria, do nosso ponto de vista, que uma política nacional para o desenvolvimento da informática, na medida em que contempla incentivos à indústria de componentes e em particular, procura alcançar o domínio de todas as etapas de produção de circuitos integrados, deveria, também, preocupar-se com a indústria produtora de insumos para estes componentes ^(4).

Da mesma forma, a evolução do assim chamado "com-

-
- (1) A definição do conceito de paradigma tecnológico será vista a seguir.
 - (2) O esforço principal das pesquisas na indústria microeletrônica concentra-se no desenvolvimento destes "trade-offs", e é assunto do capítulo 2 desta dissertação.
 - (3) Também a relação entre a evolução da tecnologia microeletrônica "stricto sensu" e o desenvolvimento tecnológico na indústria de insumos é objeto de análise do capítulo 2.
 - (4) Atualmente, apenas a empresa SID MICROELETRÔNICA, do Grupo MATHIAS MACHLINE domina a etapa de difusão de circuitos integrados (lineares). O estágio de desenvolvimento da indústria de semicondutores no Brasil é assunto do capítulo 4 desta dissertação.

plexo eletrônico" (1), especialmente no que diz respeito à crescente convergência tecnológica (2), que tende a reforçar sua integração, é profundamente dependente dos avanços que ocorrem em setores que não são explicitamente tratados como elementos do complexo: trata-se da indústria produtora de insumos, ou, mais especificamente, do segmento produtor de materiais de grau eletrônico e do segmento produtor de equipamentos para a produção de componentes, compostos, o primeiro, por empresas que atuam predominantemente na indústria química e o último, por fabricantes oriundos de uma gama mais ampla de atividades.

As principais empresas fornecedoras de insumos são, em sua grande maioria, líderes em sua indústria de origem. Encontraram no mercado consumidor destes produtos - com posto pelas empresas produtoras de semicondutores - um novo espaço de concorrência que privilegia a capacidade financeira e tecnológica de investimentos em pesquisa e desenvolvimento, seguindo cadeias produtivas que divergem, em graus diferencia dos, das suas atividades originais.

Em outras palavras, houve, por parte destas empre

(1) Composto basicamente pelos setores: informática; eletrônica de escritórios; telecomunicações e telemática; eletrônica profissional; automatismos e robótica; eletrônica médica; instrumentação técnica e científica; eletrônica de massas; serviços. Veja Erber, F.S.: O "Complexo Eletrônico" - Estrutura, Evolução Histórica e Padrão de Competição, IEI/UFRJ, 1983.

(2) A convergência tecnológica refere-se à complementariedade entre diferentes paradigmas tecnológicos, com um grau de desenvolvimento capaz de aprimorar os "trade-offs" antes mencionados bem como de criar novos produtos e indústrias, como, por exemplo, a complementariedade entre a microeletrônica e a tecnologia das fibras óticas. Também este tema será tratado no capítulo 2.

...sas, um movimento de "diversificação tecnológica", através de mecanismos tais como fusões, compras de outras empresas, desenvolvimento próprio, "joint-ventures", etc, cujo desenlace poderia ser o de concentração nestas indústrias, com possível produção cativa, caso fosse acompanhada de integração vertical com a produção de componentes.

Neste sentido, a análise da necessidade e viabilidade de integração da indústria microeletrônica no Brasil partiu da hipótese de que quanto maior fosse a velocidade de verticalização e concentração das empresas fornecedoras de insumos a nível internacional, maior seria a necessidade de estabelecer no Brasil uma estratégia de garantia de fornecimento destes produtos de forma a viabilizar a indústria nacional de componentes. Por outro lado, esperava-se que quanto mais veloz fosse este processo, menor seria a disponibilidade de tecnologia.

A resposta a estas questões necessitava um estudo que envolvesse o desenvolvimento da tecnologia da microeletrônica e suas relações com os setores a montante (capítulo 2), a estrutura industrial e os padrões de concorrência vigentes nos segmentos produtores de insumos a nível internacional (capítulo 3) e uma avaliação da situação brasileira nestes mesmos segmentos (capítulo 4).

Assim, o capítulo 2 analisa a evolução da tecnologia microeletrônica, ou seja, do "conjunto de conhecimentos práticos ... e teóricos, métodos, procedimentos, experiências de sucesso e fracasso, dispositivos e equipamentos

físicos ..." (1) relacionados à capacidade de inscrever circuitos elétricos numa minúscula pastilha de material semicondutor ("chip"). O paradigma tecnológico da microeletrônica, entendido como um programa de pesquisas tecnológicas que obedecem a um "modelo ou padrão de solução de problemas tecnológicos selecionados derivados das ciências naturais e tecnologias materiais também selecionadas" (2), define o campo de pesquisa, os problemas a serem solucionados, os procedimentos, as metas e as direções a serem seguidas, bem como as que deverão ser negligenciadas. Mais precisamente, o paradigma tecnológico da microeletrônica define, por exemplo, como metas a serem atingidas, a miniaturização dos componentes, a flexibilização dos equipamentos de base microeletrônica, bem como a redução de seus custos de produção associados à redução dos tempos na produção e transmissão de informações.

Associado ao conceito de paradigma tecnológico, as trajetórias tecnológicas constituem atividades "normais" de resolução dos problemas definidos pelo paradigma, ou ainda a realização, por procedimentos "normais", das metas definidas pelo paradigma e "podem ser representadas pelo movimento

(1) Dosi, G.: "Technological Paradigms and Technological Trajectories - A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change", Research Policy 11, 1982, 147-162, p. 152. O autor ressalta que este conceito de tecnologia, "impressionista", inclui a "percepção" de um conjunto limitado de alternativas tecnológicas possíveis bem como uma noção do seu futuro desenvolvimento.

(2) Idem, ibidem, p. 152. Na nota 14, o autor se refere ao conceito de paradigma científico desenvolvido por T. Kuhn e ao de programas de pesquisa científica desenvolvido por I. Lakatos e considera que há entre eles um grau de superposição suficiente para que possa tomar emprestado destes algumas definições básicas comuns de ciência.

dos 'trade-offs' multidimensionais existentes entre as variáveis que o paradigma define como relevantes" (1).

De maneira genérica, o progresso tecnológico no âmbito de um paradigma tecnológico é definido como a resolução de um problema específico, relativo às dimensões técnico-econômicas, enquanto que no âmbito das trajetórias é entendido como o processo de resolução destes problemas, constituindo-se em aperfeiçoamentos dos "trade-offs" específicos de cada trajetória.

Cabem aqui algumas considerações:

Em primeiro lugar, embora seja muito difícil estabelecer os limites entre ambas as noções, é possível afirmar que a consolidação dos paradigmas é determinada, em grande parte, pelo acerto na escolha das trajetórias e, em últi-

(1) Por exemplo, densidade dos circuitos e velocidade de comutação. Idem, ibidem, p. 154.

ma análise, pelo processo de difusão das inovações (1), no

-
- (1) Os trabalhos de Pavitt, K. e Soete, L., procuram, a partir de "fatos estilizados" retirados de levantamentos estatísticos detalhados, formular taxonomias de estratégias de inovação (das empresas) e/ou padrões (setoriais) de inovação e difusão tecnológicas. Veja, do primeiro autor, "Chips" and "Trajectories": How Will the Semiconductor Influence the Sources and Directions of Technical Change? (draft chapter prepared for Technology and the Human Prospect, R. MacLeod (eds), to be published by Francis Pinter) SPRU/Sussex, março 1984, mimeo, no qual o autor constrói uma taxonomia a partir de dados organizados por outros autores (Townsend et al.: Innovation in Britain Since 1945, SPRU, Occasional Paper nº 16, University of Sussex, 1981), em que, para cada inovação, coletaram informações sobre as principais fontes de conhecimento, a classificação do produto e o setor usuário da inovação, bem como o tamanho da firma e o principal setor de atividade da firma inovadora. Também de Pavitt, o artigo "Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory", in Research Policy, 13, 1984, p. 343-373, se baseia no mesmo trabalho de Townsend e objetiva descrever e explicar as semelhanças e diferenças entre setores no que se refere à fonte, natureza e impacto das inovações, que são definidas pela fonte de conhecimento, tamanho e principal linha de atividade das firmas inovadoras, setores produtores de inovação e principal uso das inovações. Por sua vez, o trabalho de Soete, L.: Sectoral and Technological Taxonomies: An 'Integrative' Analysis Based on Innovation Statistics, preparado para a OECD Workshop on Innovation Statistic Paris, 8-9 dezembro 1986, é uma tentativa de juntar duas linhas de análise que se basearam nos trabalhos de Townsend: a de Pavitt, já mencionada, e a de Freeman, que sistematiza alguns dos condicionantes das estratégias de concorrência, via inovações, por parte das firmas. Veja Freeman, C.: The Economics of Industrial Innovation, Penguin, 1974, em particular o capítulo 8 (Innovation and the Strategy of the Firm), e Freeman, C., Clark, J. e Soete, L.: Unemployment and Technical Innovation - A Study of Long Waves and Economic Development, London, Frances Pinter, 1982, no decorrer do qual definem as principais características das inovações.

qual a seleção econômica (1) tem papel predominante. No caso da microeletrônica, a trajetória baseada no silício, que substituiu o germânio, viabilizou a produção industrial a custos aceitáveis, de tal forma que tornou possível a difusão desta tecnologia por inúmeros setores industriais que hoje conformam o complexo eletrônico. É neste sentido que se pode compreender as afirmações - genéricas - de que cada paradigma tem, por um lado, um caráter exclusivo, na medida em que os esforços alocados em seu desenvolvimento e concretização levam, geralmente, à exclusão de outras alternativas. Por outro lado, cada paradigma é constituído por várias trajetórias, não necessariamente excludentes entre si, podendo até mesmo

(1) A noção de seleção econômica foi desenvolvida pela teoria neo-schumpeteriana "evolucionista", cujos expoentes são Richard, N. e Winter, S. Veja, destes autores: "In Search of a Useful Theory of Innovation", in Research Policy 6, 1977, p. 36-76 e An Evolutionary Theory of Economic Change, Harvard University Press, 1982. O processo de seleção econômica pode ser descrito da seguinte forma: as regras decisórias rotineiras das firmas determinam as decisões de produção que, coletivamente, determinam os preços de mercado prevalecentes, e portanto, a lucratividade: a lucratividade alcançada, juntamente com as regras decisórias de investimento e as regras do mercado de capitais determinam as taxas de expansão ou contração das firmas, alterando seu tamanho e a estrutura industrial dos setores em que atuam. Neste processo atua também um processo de "feed-back", em que as mudanças na estrutura levam a mudanças nas regras decisórias. Num contexto de mudança tecnológica, as decisões incluirão a escolha entre diferentes trajetórias tecnológicas ou mesmo entre diferentes alternativas dentro de uma mesma trajetória, que deverão passar, da mesma forma, pelo processo de seleção econômica. Neste sentido, o progresso técnico passa a ser um objeto de decisão empresarial e a inovação assume um importante papel na estratégia de concorrência.

ser complementares (1), podendo haver concorrência entre diferentes novas trajetórias e entre novas e velhas (2). A evolução deste processo determina, em grande parte, o "timing" do progresso técnico, a criação de novos produtos e processos e até mesmo a formação de novos setores (3) e dependem, também em grande medida, da maneira pela qual os agentes respondem às oportunidades e expectativas criadas pelo surgimento das inovações (4).

Estas questões são tratadas no capítulo 2, que apresenta os principais "trade-offs" do paradigma tecnológico da microeletrônica e as principais características de sua evolução na última década, enfatizando a trajetória baseada

(1) "... uma dada invenção, não importa o quão promissora seja, muitas vezes não pode desenvolver seu potencial a menos que outras invenções ocorram, relaxando e ultrapassando restrições que de outra forma impediriam a difusão e expansão da primeira inovação". Rosenberg, N.: "Factors Affecting the Diffusion of Technology", in: Rosenberg, N.: Perspectives on Technology, Cambridge University Press, 1976, p. 201.

(2) "... uma das razões pelas quais as novas tecnologias parecem substituir lentamente as velhas é que as velhas tecnologias continuam a se aprimorar ... frequentemente, há uma conexão íntima entre inovações por um lado e aperfeiçoamentos de velhas tecnologias, por outro. Ou seja, parece que as inovações frequentemente induzem respostas vigorosas e imaginativas por parte das indústrias que são por elas afetadas". Idem, ibidem, p. 204-205.

(3) As relações existentes entre o surgimento de novas tecnologias e a formação de novos setores, indústrias ou complexos é tratada sucintamente em Araújo Jr., J.T.: Tecnologia, Concorrência e Mudança Estrutural: a Experiência Brasileira Recente, IPEA/INPES, 1985, especialmente capítulo 2.

(4) "... é possível que haja assimetrias na maneira pela qual as firmas respondem pelas alterações de suas expectativas de lucro. O perigo eminente que o surgimento de novas tecnologias oferece às margens de lucro das firmas parece ser, historicamente, um agente mais eficaz na geração de aperfeiçoamentos da eficiência das velhas tecnologias do que as pressões, mais difusas, da concorrência interindustrial". Rosenberg, N.: op. cit., p. 205.

na tecnologia do silício e ressaltando seus condicionantes em termos do desenvolvimento de materiais de grau eletrônico e equipamentos para a produção de componentes microeletrônicos. Sustentamos, ao longo do capítulo, que a trajetória baseada no silício é predominante em termos dos seus resultados, aperfeiçoando os "trade-offs" definidos pelo paradigma tecnológico mais geral. A ênfase neste capítulo foi dada aos elementos condicionantes da evolução do paradigma, que se confirmaram como estando localizados na capacidade de produção de materiais cada vez mais puros e equipamentos cada vez mais exatos.

Além disso, apresentamos uma análise - breve - das outras trajetórias que despontaram durante esta década, como possíveis rotas alternativas ou complementares de resolução dos "trade-offs" que a trajetória baseada no silício parece não ser capaz de alcançar isoladamente. Chamamos a atenção, na medida em que as informações disponíveis permitiram, para o caráter complementar ou substitutivo destas outras trajetórias, seus principais gargalos e potenciais.

Em segundo lugar, pode-se afirmar que a multiplicidade de trajetórias possíveis no interior de um paradigma tende a se afunilar à medida em que se desenvolvem e à proporção em que ocorre o processo de difusão. Este processo de afunilamento tem condicionantes tecnológicos - já que a maturação de uma determinada tecnologia tende a eleger uma trajetória (ou um determinado conjunto delas) em detrimento de outras - e econômicos, pois à medida que as firmas imobilizam seu capital numa determinada tecnologia específica tendem a continuar investindo nela. Isto não implica, no entanto, que

não haja investimentos em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias alternativas sempre que haja expectativas de que o resultado destes investimentos possam ser, de alguma forma, apropriados e gerar lucros (1).

Também estas questões são tratadas no capítulo 2, através da identificação, na medida do possível, das empresas e instituições que investem em pesquisa e desenvolvimento em trajetórias diversas da que se baseia na tecnologia mais "tradicional".

Em terceiro lugar, importa recuperar que ambas as noções (paradigma e trajetória) estabelecem limites de possibilidades de alternativas a serem seguidas pelas firmas ou países no processo de concorrência, em particular das alternativas referidas às suas estratégias e políticas tecnológicas. Ambas as noções incluem elementos de seleção de tecnologia de caráter econômico ("ex-ante", via expectativas econômicas e/ou "ex-post", via mercado), baseados em critérios gerais de exequibilidade, lucratividade potencial e comerciabilidade, bem como de caráter tecnológico, dentre os quais se

(1) A apropriabilidade privada é entendida como o grau de controle que o inovador possa alcançar sobre os resultados do progresso técnico. É, no mundo capitalista, o principal incentivo - em termos de expectativas - para o investimento em tecnologia (e ciência) e associa-se, de forma direta, ao caráter cumulativo do progresso técnico. Neste sentido, é também o resultado do processo inovativo. Veja Dosi, G. Technical Change and Industrial Transformation: the theory and an Application to the Semiconductor Industry, London, Macmillan, 1984.

destacam o que Dosi denominou oportunidade tecnológica (1) e cumulatividade do progresso técnico (2). Incluem ainda os fatores sociais, políticos e institucionais que podem nortear o processo de seleção de tecnologias.

Estes diferentes elementos (a apropriabilidade privada, a cumulatividade e a oportunidade tecnológica) apresentam-se em diferentes combinações a nível das firmas, in-

(1) A oportunidade tecnológica deriva das variáveis que definem os "trade-offs" econômicos e tecnológicos de cada paradigma tecnológico e que, neste sentido, delimitam o escopo potencial de inovações (ou aprimoramentos) passíveis de serem criados (ou alcançados). É óbvio que as oportunidades variam para cada paradigma específico, bem como para cada trajetória e apresentam-se mais ou menos viáveis para cada país, indústria ou firma, segundo suas diferentes capacitações tecnológicas acumuladas e condições gerais (institucionais, políticas, sociais e econômicas) de realização de pesquisa. A oportunidade tecnológica representa, segundo Dosi, a condição necessária ao progresso técnico, enquanto que a apropriabilidade define o "grau de compromisso das empresas com a atividade inovadora, para cada nível dado de oportunidade". Idem, ibidem, p. 88-89.

(2) A cumulatividade relaciona-se com o caráter não aleatório do progresso técnico. Do ponto de vista tecnológico, significa que o aprendizado decorrente da pesquisa, do desenvolvimento - "learning by doing" ou do uso - "learning by using" - de uma determinada tecnologia capacita a firma (ou o país) a seguir pesquisando e desenvolvendo esta mesma tecnologia, em busca de novos aperfeiçoamentos de produto ou de processo. De um ponto de vista estritamente econômico, a experiência acumulada tende a se refletir em redução de custos, melhoria de qualidade, gerando maior rentabilidade e pode ser representada pelas curvas de aprendizado, que relacionam decréscimo de custos e preços ao volume acumulado de produção. Ao mesmo tempo, a imobilização de capital numa determinada trajetória compromete as futuras decisões de investimento (inclusive em pesquisa e desenvolvimento) à trajetória inicialmente escolhida. Dosi salienta que diferentes tecnologias, bem como diferentes indústrias, apresentam diferentes graus de cumulatividade e que esta característica relaciona-se de forma inversa às possibilidades de difusão tecnológica. Idem, ibidem, p. 88-89.

dústrias ou países, sendo determinantes de seu desempenho, também diferenciado, quanto à capacidade de se estabelecer, manter sua posição ou evoluir em diferentes mercados. A escolha, por parte de diferentes firmas, de diferentes trajetórias tecnológicas (via introdução "stricto sensu" de inovações, imitação ou simples adoção) explica-se fundamentalmente pela existência de assimetrias entre elas, tanto com relação ao tipo de atividade já desenvolvida (setor industrial, ou, numa expressão mais tecnológica, "cadeia produtiva"), quanto no que se refere à sua posição no respectivo mercado (tamanho, escala de custos, rentabilidade, grau de diversificação, etc...), não se podendo perder de vista aspectos ligados aos diferentes graus de aversão ao risco - associado ao elevado grau de incerteza existente num contexto de mudança tecnológica (1) - e, como já dissemos, o ambiente político, social e institucional mais geral.

As assimetrias entre firmas e entre setores, em particular em termos de capacidade tecnológica, capacidade inovadora e rapidez na imitação são, por um lado, condições de incentivo à atividade inovadora (como uma das armas possíveis de concorrência) e, por outro, o próprio resultado dos diferentes graus de cumulatividade e apropriabilidade privada do progresso técnico. A ênfase nas assimetrias por assim di-

(1) Em situações de mudanças estruturais geradas pelo progresso técnico, a incerteza passa a existir não somente com referência às dificuldades do cálculo sobre o futuro, genéricas, mas também com relação às expectativas sobre as questões tecnológicas propriamente ditas: a natureza descontínua das inovações (sua aglomeração no tempo, ou os "clusters" enfatizados por Schumpeter), o desenvolvimento futuro das tecnologias escolhidas e as expectativas sobre o possível aparecimento de tecnologias complementares ou substitutas ou, até mesmo, o surgimento de aperfeiçoamentos tão rápidos que tornam a tecnologia em questão prematuramente obsoleta. Deve-se incluir ainda a eventualidade de aperfeiçoamentos da "velha" tecnologia, de tal forma que ela possa ter uma sobre-vida.

zer mais "tecnológicas" apenas ressalta que a inovação é, em regra, o elemento mais importante da concorrência, em particular em setores de tecnologia de ponta, como é o caso das indústrias produtoras de materiais de grau eletrônico e de equipamentos para a produção de semicondutores, estudadas no capítulo 3.

Neste, apresentamos uma análise da estrutura destas indústrias - produtoras de insumos - a nível internacional (Estados Unidos, Europa e Japão), em seus dois segmentos, bem como dos respectivos mercados. A análise do padrão de concorrência vigente nestas indústrias inclui uma avaliação do grau de integração e especialização ou diversificação das empresas que as compõem e os vínculos econômicos e tecnológicos entre as firmas e entre os setores.

Os conceitos de apropriabilidade privada, cumulatividade e oportunidade tecnológica aparecem subjacentes na avaliação das tendências à integração vertical e das possibilidades de passagem à produção cativa de seus produtos. O objetivo é o de subsidiar a avaliação da necessidade e viabilidade da integração da indústria microeletrônica brasileira, segundo as hipóteses mencionadas no início desta introdução.

Em particular, a análise procurou levar em conta os "fatos estilizados" que serviram de ponto de partida nos trabalhos de Pavitt (já mencionados), a saber:

1. O conhecimento tecnológico é específico em termos de aplicação. Disto, decorre que: a) há concentração das atividades inovadoras, em termos de gastos no desenvolvimento e na engenharia de produção específicos a um produto ou pro-

cesso; b) a firma inovadora utiliza, de forma acentuada, conhecimentos que não são de domínio público, mas sim específicos a ela mesma ou a outras firmas de linhas tecnológicas relacionadas; c) a assimilação e adaptação da tecnologia, quando esta é transferida de uma firma para outra, exige gastos consideráveis.

2. O conhecimento tecnológico tem desenvolvimento cumulativo (1).

3. As firmas tendem a permanecer em áreas próximas às aquelas em que já atuam (2).

4. As firmas estão em diferentes níveis no que se refere à capacitação tecnológica e por isso tendem a definir estratégias diferentes, segundo a disponibilidade e o acesso à tecnologia, encomendas, capacidade de apropriação privada dos resultados do progresso técnico, etc...

Também procurou-se levar em conta os critérios

(1) Aqui vale um comentário: o caráter cumulativo do conhecimento tecnológico não significa necessariamente um afunilamento da estratégia tecnológica das firmas, mas, pelo contrário, pode significar um conhecimento que se acumula crescentemente e dá à firma, potencialmente, a capacidade de abrir seu leque de alternativas.

(2) As "áreas próximas" podem ser entendidas como mercado consumidor ou como cadeias tecnológicas. Ou seja, tanto pode-se entender que as firmas tendem a apenas aprimorar os produtos que já produzem para um mesmo mercado, como podem tentar adaptar estes produtos de tal forma que sirvam a outros mercados, como ainda podem utilizar seu conhecimento em determinadas cadeias produtivas para fornecer produtos diferentes para outros mercados.

básicos de classificação adotados por Soete (1):

1. O setor é predominantemente produtor ou usuário das inovações?

2. As inovações originárias de um setor são facilmente difundíveis ou são localizadas?

3. O setor produtor de inovações é dependente do usuário de suas inovações ou é ele mesmo seu próprio usuário? O setor usuário de inovações depende do produtor de inovações ou é seu próprio produtor?

Finalmente, o capítulo 4 descreve o estágio atual da indústria de componentes semicondutores no Brasil e avalia a situação dos insumos para a microeletrônica, a partir da discussão de alguns dos aspectos mais importantes da estratégia escolhida pelo governo para a implantação da indústria microeletrônica no país, e que explicam, ao menos parcialmente, o relativo descaso com que a questão dos insumos vem sendo tratada.

Analizamos a Política Nacional de Microeletrônica no que se refere aos itens relativos aos insumos, destacando, no processo de sua formulação, as visões aparentemente antagônicas, a saber: uma, que considera desnecessária uma política específica para este segmento, argumentando que a produção nacional é inviável, dado o pequeno mercado e as

(1) Soete, L. op. cit. Tomamos a liberdade de substituir a análise setorial por uma análise das firmas. Os critérios mencionados não passaram por uma avaliação quantitativa, pois não dispúnhamos de dados estatísticos sobre as inovações em materiais de grau eletrônico ou equipamentos para produção de semicondutores. Estes critérios, portanto, foram utilizados apenas com a intenção de qualificar as relações entre usuários e fornecedores de inovações destes segmentos, de forma bastante genérica.

grandes exigências de capital; outra, que considera tal política fundamental, dado seu caráter estratégico para a autonomia nacional e sua capacidade de gerar novas oportunidades de investimento.

O capítulo inclui um levantamento da situação do quartzo e do silício no Brasil, que foram os únicos materiais que receberam alguma atenção por parte dos formuladores de política para o segmento.

CAPÍTULO 2
EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DA INDÚSTRIA MICROELETRÔNICA

2.1. Introdução

Na introdução a esta dissertação afirmamos que os avanços que ocorrem nos segmentos produtores de materiais de grau eletrônico e de equipamentos para a indústria microeletrônica são fundamentais para o desenvolvimento da tecnologia microeletrônica e, portanto, para a evolução de todo o complexo eletrônico.

Este capítulo pretende em primeiro lugar dar sustentação a esta afirmação através de uma avaliação das tendências do desenvolvimento tecnológico na indústria microeletrônica e seus condicionantes no que se refere ao fornecimento de insumos (materiais e equipamentos) adequados.

Em segundo lugar, o capítulo pretende identificar em que medida as pesquisas desenvolvidas nesta indústria levam à complementariedade ou à substituição da tecnologia baseada no silício, como forma de preparar uma avaliação das "chances" oferecidas ao Brasil em relação à sua indústria microeletrônica - o que será tratado apenas no capítulo 4.

Queremos ressaltar que as informações de caráter técnico que este capítulo oferece são fundamentais para o entendimento destas tendências, o que justifica sua presença no corpo da dissertação. As informações mais detalhadas encontram-se no Anexo Técnico, que contém um resumo de toda a pesquisa técnica efetuada ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

O capítulo está dividido em três partes. Na pri-

meira (seção 2), descrevemos os principais "trade-offs" presentes na tecnologia microeletrônica e os principais aspectos de sua evolução na última década. A segunda parte (seção 3) descreve, de forma mais detalhada, estes mesmos trade-offs e seus possíveis desdobramentos, em termos da trajetória baseada no silício. A última parte (seção 4) descreve o estágio atual das pesquisas em microeletrônica, ressaltando as outras trajetórias existentes, seus principais gargalos e sua potencialidade em termos de complementariedade ou substituição da trajetória baseada no silício.

2.2. Considerações Gerais

A evolução da tecnologia eletrônica no que se refere à indústria de componentes - também conhecida como indústria de semicondutores -, ramo da indústria eletrônica que produz componentes eletrônicos usando as propriedades dos materiais semicondutores (1), é usualmente descrita através da

(1) "Semicondutores são elementos ou compostos (tais como o silício, germânio, selênio, arseneto de gálio, etc...) que tem condutibilidade inferior aos condutores ... e superior aos isoladores ... As propriedades condutivas ou isoladoras dos semicondutores podem ser afetadas pela presença de corrente elétrica, campos eletromagnéticos, temperatura, luz ou quaisquer exposições a ondas eletromagnéticas ... [através das quais] ... os semicondutores podem cumprir as funções de componentes ativos nos circuitos elétricos e modular, retificar e amplificar sinais elétricos". Dosi, G.: Technical Change and Industrial Transformation - The Theory and an Application to the Semiconductor Industry, Londres, Macmillan Press, 1984, p. 22.

crescente integração dos componentes microeletrônicos, os assim chamados circuitos integrados (1).

A história do microprocessador descreve a capacidade que a integração em escala cada vez maior tem de dar origem a novos produtos eletrônicos mais complexos, mais compactos e de menor custo. Antes do advento dos microprocessadores, os circuitos integrados com funções lógicas eram soldados a uma placa de circuito impresso, formando um sistema denominado "hard-wired logic", em que as interconexões fixas cumpriam o papel de programas. Estes sistemas, no entanto, se mostraram menos flexíveis que o sistema a válvulas do ENIAC (Electronic Numerical Integrator Computer, primeiro computador eletrônico digital que pesava 30 toneladas e usava cerca de 18.000 válvulas) pois neste os arranjos de cabos e "plugs" podiam ser modificados de forma a alterar os programas. O microcomputador surgiu da tentativa de contornar estas dificuldades e da experiência acumulada na INTEL - empresa norte-americana produtora de semicondutores, considerada a "inventora" do microcomputador -, que já havia desenvolvido circuitos semicondutores de memória usados em grandes computadores e que eram potencialmente capazes de armazenar programas computacionais. Também o desenvolvimento de tecnologias capazes de inscrever circuitos bastante complexos em pequenas superfícies (fotolitografia) foi crucial no advento do microprocessador, uma vez que o dispositivo desenvolvido pela INTEL consistia da condensação da uni

(1) "Circuito integrado é um dispositivo que desempenha mais de uma função num único chip, isto é, incorpora mais de um componente, ativo ou passivo". Idem, Ibidem, p. 23. A classificação dos componentes eletrônicos encontra-se no Anexo Técnico, p. 32.

idade de processamento central - o "cérebro" do computador - numa única pastilha de silício; este dispositivo passou a ser chamado de microprocessador, ao qual foram ligados dois "chips" de memória (um que movimentava os dados de entrada e saída do microprocessador e outro que fornecia o programa de funcionamento). Nascia o microcomputador que, embora mais lento que os minicomputadores, podia ser produzido em larga escala, como componente, nas mesmas linhas de produção que a INTEL usava para produzir "chips" de memória (1).

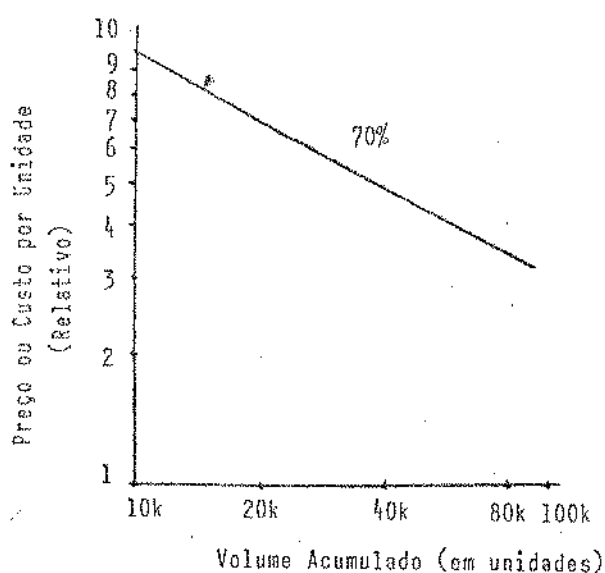
O custo de produção de cada nova geração de circuitos integrados é crescente com relação à geração anterior, devido à maior sofisticação decorrente da elevação da escala de integração. Para cada geração, no entanto, os custos (e preços) são decrescentes à medida em que se movem ao longo da linha de aprendizado.

O gráfico 2.1 representa a curva de aprendizado que vigora na indústria microeletrônica, e mostra o decréscimo de custos de produção de componentes em função do volume acumulado de produção, que pode ser considerada um resultado da experiência de produção. O aprendizado decorrente da experiência implica redução dos custos de produção em geral. O gráfico indica que, para cada duplicação do volume acumulado de produ-

(1) Resumo baseado no artigo intitulado "Here Comes the Second Computer Revolution", in Fortune, nov. 1975, p. 134-184. Para a história da indústria eletrônica em geral, de um ponto de vista econômico, veja Freeman, C.: The Economics of Industrial Innovation, Penguin, 1974 (especialmente o capítulo 4), Freeman, C.; Clark, J. e Soete, L.: Unemployment and Technical Innovation - a Study of Long Waves and Economic Development, Londres, Frances Pinter, 1982 (especialmente o capítulo 6) e Dosi, G.: op. cit.

ção, o custo por unidade cai em 30%. Quando um produto se localiza no alto da curva de aprendizado, significa que há pouca produção acumulada (experiência) e, portanto, prevalecem altos custos.

GRÁFICO 2.1 : CURVA DE APRENDIZADO CLÁSSICA
(Escala LOG)



FONTE: Relatório ICE-STATUS, 1985, p. 155.

Observa-se que a ordenada do gráfico refere-se tanto ao preço quanto ao custo relativo por unidade, o que reflete as estratégias de concorrência inter-firmas: no estágio inicial da produção de um novo produto, a firma inovadora pode usufruir de preços de monopólio que lhe permitam recuperar ra-

apidamente os gastos de P & D, mas, à medida em que a tecnologia se difunde, a empresa tende a reduzir seus preços não apenas para dificultar a entrada de novos concorrentes na indústria como também para elevar sua participação no mercado. Esta redução de preços pode ter como efeito a redução da expectativa de lucro das concorrentes; ao mesmo tempo, induz as empresas já atuantes a elevar o volume de produção e vendas para manter o mesmo faturamento. Na indústria de semicondutores, em particular, este movimento deve ser feito rapidamente, já que a obsolescência de produtos se dá de forma acelerada. Não raro, a introdução, no mercado, de produtos mais eficientes pressiona rapidamente, para baixo, os preços dos produtos da geração anterior. Por outro lado, ao aumentar o volume de produção acelera-se a aquisição de experiência, o que se reflete na redução de custos de produção, possibilitando a redução de preços sem redução das margens de lucro. Muitas vezes, a impossibilidade de se levar a cabo este processo - independentemente dos motivos - leva as empresas a abandonarem determinadas linhas de produção (1).

De modo genérico, a cada geração de componentes corresponde uma geração de computadores. Assim, a primeira geração de computadores é a que utilizou válvulas; a segunda é a

(1) É o caso da SPERRY CORP., da IBM e dos Laboratórios Bell com relação às junções Josephson, como veremos mais adiante.

dos dispositivos discretos (1), a terceira corresponde aos circuitos integrados (2) com escalas de integração SSI, MSI e LSI (3) e a quarta, que inclui a invenção do microprocessador, corresponde à escala VLSI (4). Os chamados computadores de quinta geração, com lógica mais complexa que a binária (a assim chamada inteligência artificial ou processamento paralelo) corresponderiam, no final do século XX, à escala VHSIC (5), para a qual converge a maioria das pesquisas nesta indústria (6).

(1) Componentes discretos são aqueles que desempenham apenas uma função eletrônica e só formam um circuito elétrico se conectados a outros componentes. Os dispositivos discretos - entre os quais os transistores, diodos, tiristores, retificadores, etc - correspondem à primeira geração de dispositivos semicondutores. Os componentes optoeletrônicos tais como os LEDs (light-emitting diodes) e os LCDs (liquid crystal displays) bem como as memórias de bolha magnética, embora não sejam estritamente semicondutores, são freqüentemente produzidos por empresas da indústria de semicondutores, com processos de produção similares à produção de semicondutores, e por isso são, às vezes, classificados como tais. Veja Dosí, C.: op. cit., p. 23-26.

(2) Os circuitos integrados correspondem à segunda geração de dispositivos semicondutores e, a partir daí, as gerações se diferenciam segundo a escala de integração. Os circuitos integrados podem ser classificados segundo vários critérios, dentre os quais: função (memória, unidade de lógica, microprocessador, etc.); grau de generalidade ou forma de produção (padronizado, semi-padronizado ou sob encomenda); escala de integração ou ainda segundo a tecnologia (MOS ou BIPOLAR, entre outras).

(3) Respectivamente: small scale integration, medium scale integration e large scale integration.

(4) Very large scale integration.

(5) Very high integrated circuits, ou ultra large scale integration.

(6) Veja a figura 1 no Anexo Técnico, que ilustra a evolução da tecnologia dos dispositivos semicondutores, principalmente a partir da invenção do transistor.

O que nos interessa mais de perto é a evolução do paradigma tecnológico da microeletrônica (1), a partir da tecnologia dos circuitos integrados, cujo processo caracteriza-se, além da elevação da escala de integração (ou crescente miniaturização) e decréscimo de preços (2), também pela crescente confiabilidade e velocidade de processamento, menor consumo de energia e maior capacidade de armazenamento de dados.

O aperfeiçoamento destes parâmetros técnico-econômicos (3), ou melhor, a tentativa de resolução dos "trade-offs" existentes entre eles constitui a essência das atividades de pesquisa e desenvolvimento no interior das empresas produtoras de componentes microeletrônicos e das produtoras de

(1) O conceito de paradigma tecnológico é entendido aqui como um "modelo ou padrão de solução de problemas tecnológicos selecionados, com base em princípios também selecionados derivados das ciências naturais e tecnologias materiais também selecionadas", definindo não apenas o campo de pesquisa e os procedimentos científicos a serem adotados (ou rejeitados), como também as dimensões econômicas relevantes a serem consideradas. Assim, a evolução do paradigma é entendida como a resolução dos "trade-offs" técnico-econômicos, a partir da seleção de diferentes trajetórias tecnológicas - substitutas ou complementares entre si - entendidas como atividades normais de resolução de problemas definidos pelo paradigma. A evolução das trajetórias, por sua vez, é vista como o aperfeiçoamento (ou deslocamento dos limites) dos "trade-offs", Veja Dosi, G.: op. cit.

(2) A redução de custos - e preços - vem sendo obtida principalmente através da simplificação dos circuitos, elevação do tamanho do "wafer" (lâmina ou "bolacha" de silício que constitui o substrato sobre o qual são produzidos os circuitos integrados), maior resolução litográfica e redução dos defeitos com respectivo aumento dos rendimentos.

(3) É o que Dosi denomina "dimensões tecnológicas e econômicas que representam espécies de coordenadas de um espaço multidimensional em que o progresso técnico pode ser descrito como um movimento, no tempo, orientado, de uma linha (ou, mais especificamente, de uma superfície)". Dosi, G.: op. cit., p. 38.

materiais de grau eletrônico e equipamentos de produção, bem como dos laboratórios oficiais e universidades. A resolução destes "trade-offs" depende fundamentalmente, e de forma crescente, do aprimoramento da tecnologia de produção de materiais de grau eletrônico (1) e dos equipamentos de produção de componentes microeletrônicos (2).

-
- (1) Materiais de grau eletrônico são "todos os materiais especiais que são utilizados direta ou indiretamente na fabricação de dispositivos eletrônicos e circuitos integrados. O termo 'grau eletrônico' traduz a característica fundamental desta classe de materiais, qual seja, a sua elevada e controlada pureza química, se comparada à pureza exigida nos materiais industriais convencionais... Sua utilização na tecnologia dos microcircuitos requer uma pureza química não inferior a 99,95% ... [o que]... envolve processos de alta densidade tecnológica ... [resultando] ... num aumento de ordens de grandeza no custo unitário do material". Campos Filho, M.P.: "No Grau Eletrônico, a Base Estratégica dos Componentes", in: Dados e Idéias, junho/julho 1978. Do mesmo autor, veja também "O Insumo Estratégico da Informática", in Dados e Idéias, dezembro de 1980 e "Silício Policristalino para Células Solares", in Dados e Idéias, julho 1981. A variedade dos materiais de grau eletrônico necessários à produção de componentes microeletrônicos é enorme e sua classificação varia segundo o critério escolhido, como sua natureza física e estrutural ou segundo sua importância nas aplicações. Veja, no Anexo Técnico, o item IV, p. 17, que descreve os MGE normalmente usados na fabricação de componentes.
- (2) Escalas de integração em graus mais elevados exigem equipamentos de maior precisão. Ainda assim, é possível classificá-los genericamente segundo a função que executam: litografia, difusão, oxidação, metalização, recozimento, teste, corte, soldagem, além dos equipamentos de apoio, sem os quais todo o processo é inviável (equipamentos que mantêm as salas de processamento - "clean rooms" - livres de impurezas para que estas não interfiram no perfeito funcionamento dos circuitos). Veja Caldas, G., Mallet, R. e Helena, S.: "Como se faz um Chip", in Revista INFO, nº 3, abril de 1983. Veja também Data-News, 18/10/83, p. 6. Para informações técnicas mais detalhadas, veja os Relatórios da ICE-Status, especialmente o de 1982. O processo de produção de circuitos integrados e os equipamentos utilizados nas principais etapas encontram-se respectivamente no item I (p. 1) e II (p. 7) do Anexo Técnico.

No que se refere aos materiais, a evolução da tecnologia microeletrônica (através da resolução dos mencionados "trade-offs") esbarra em limites impostos pela estrutura física dos materiais semicondutores. Por isso as pesquisas neste segmento se dedicam a procurar novos materiais que permitam integração a níveis mais elevados do que o atual, como o arseneto de gálio - atualmente em uso apenas para fins específicos - ou os materiais supercondutores - ainda em estágio laboratorial.

No segmento de equipamentos, as pesquisas se dirigem a novos métodos de litografia que permitam maior precisão bem como à automação e flexibilização do processo de produção (1). A direção específica que estas pesquisas vem tomando é assunto dos próximos itens deste capítulo.

2.3. A Trajetória Baseada no Silício: as Principais Tendências

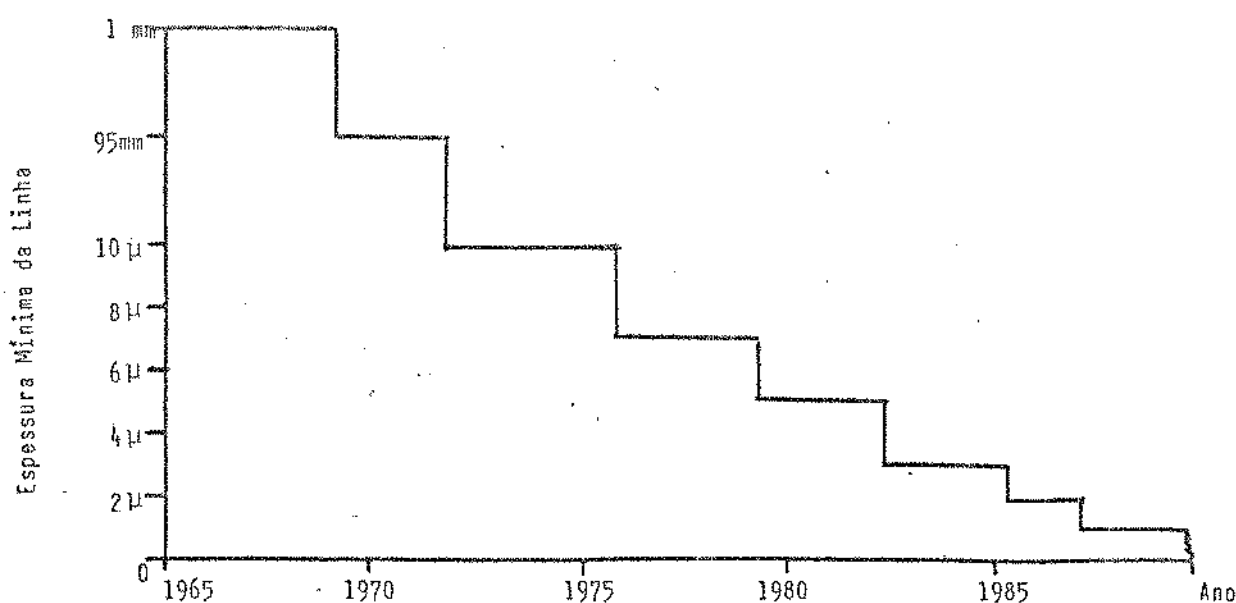
De maneira geral, pode-se dizer que os parâmetros técnico-econômicos citados na seção anterior deste capítulo - crescente miniaturização, decréscimo de preços, crescente confiabilidade e velocidade de processamento, menor consumo de energia e maior capacidade de armazenamento - vêm sendo aprimorados na última década através da utilização de "wafers" e "chips" maiores, bem como pelo aumento da densidade dos cir-

(1) Veja no Anexo Técnico a figura 2 (p. 36), que mostra as principais tendências da evolução dos processos de litografia de circuitos integrados.

cuitos, juntamente com o aprimoramento e simplificação dos projetos (menos transistores por "chip") (1).

A evolução da trajetória tecnológica da microeletrônica baseada no silício pode ser melhor descrita pela redução da espessura das linhas dos circuitos - o que vem ocorrendo por faixas ou patamares, como mostra o gráfico 2.2 - do que pelo indicador "número de transistores". Este é difícil de ser utilizado, pois, como mostra o gráfico 2.3, atualmente os "chips" tem um "mix" de dispositivos, de tal forma que o indicador se torna inútil. Além disso, existe um "gap" entre as densidades dos circuitos conforme sejam "chips" lógicos ou de memória.

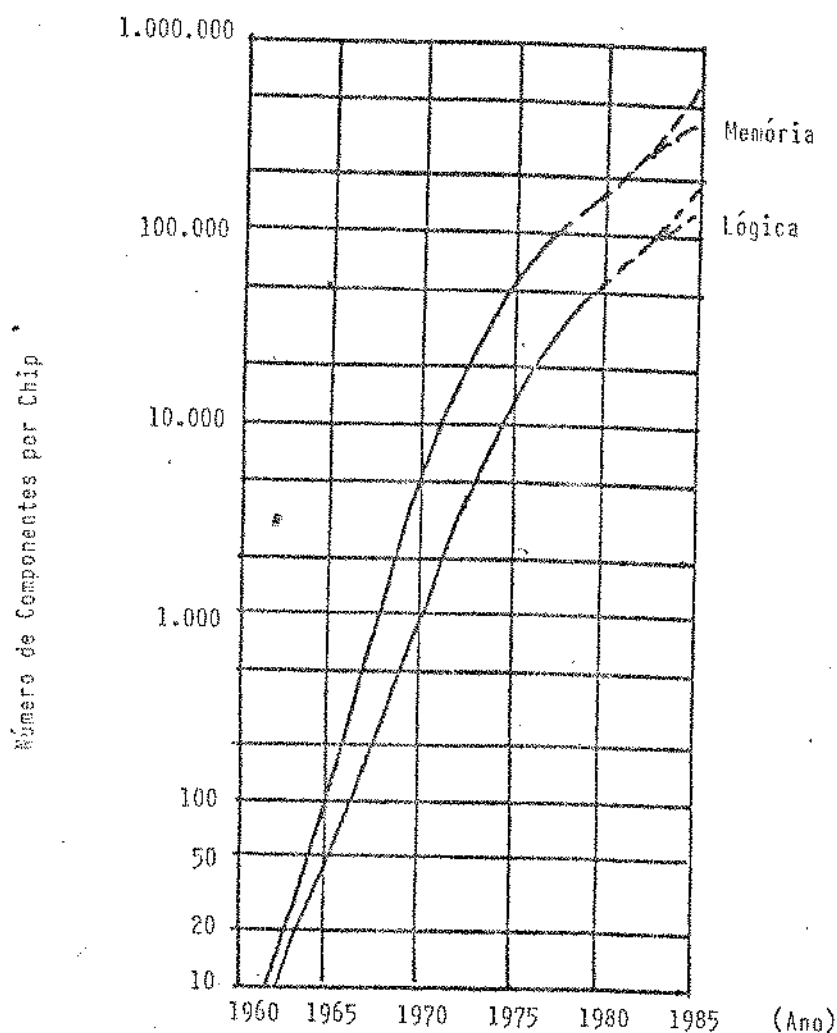
GRÁFICO 2.2 : REDUÇÃO DA ESPESSURA DAS LINHAS (TENDÊNCIA)



FONTE: Relatório ICE-STATUS 1983, p. 9.

(1) Veja as figuras 4.1, 4.2 e 4.11 do Relatório ICE-Status, 1986.

GRÁFICO 2.3 : DENSIDADE DOS CIRCUITOS INTEGRADOS

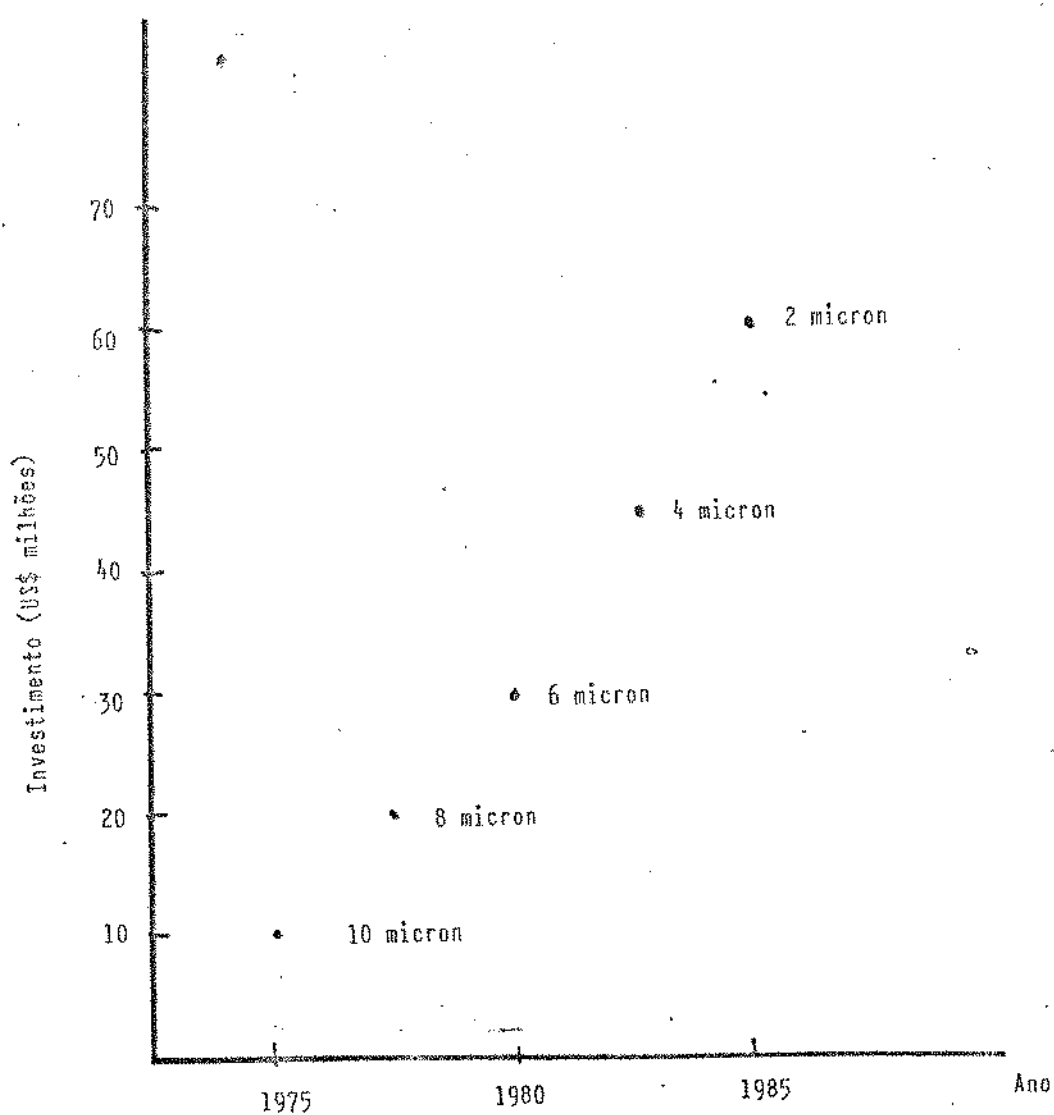


FONTE: Relatório ICE-STATUS 1980, p. 85.

A utilização da espessura das linhas como indicador básico da evolução tecnológica na indústria de componentes microeletrônicos nos parece a mais adequada pelo fato de que esta trajetória parece indicar barreiras tecnicamente difíceis e economicamente caras de transpor, como ilustra o gráfico

co a seguir. Ao mesmo tempo, esta trajetória tem exigido esforços cada vez maiores no aprimoramento da pureza dos materiais de grau eletrônico e da precisão dos equipamentos de produção. Muitas vezes, a dificuldade de ultrapassar gargalos técnicos (e econômicos) da tecnologia do silício tem levado a que as pesquisas se diversifiquem em direção a novos materiais e, até mesmo a novas concepções de componentes, como veremos mais à frente.

GRÁFICO 2.4: TENDÊNCIA DE ELEVAÇÃO DO CUSTO DA PLANTA PARA ESPESURAS DE LINHAS DECRESCENTES



FONTE: Relatório ICE-STATUS, 1982, p. 60.

Além da redução da espessura das linhas dos circuitos, outro indicador do avanço tecnológico da indústria é o tamanho do "chip". É interessante notar que enquanto estes aumentam de tamanho, os níveis de integração se elevam concomitantemente à redução da espessura das linhas, como mostra a tabela 2.1, e pressionam os produtores de circuitos integrados a utilizar "wafers" maiores.

TABELA 2.1 : TENDÊNCIA DA EVOLUÇÃO DO TAMANHO DA PASTILHA, RESOLUÇÃO DAS LINHAS, NÚMERO DE DISPOSITIVOS E TAMANHO DA LÂMINA

Parâmetro Ano	Tamanho da Pastilha † ("chip")	Resolução µ m † (espessura das linhas)	Dispositivos † per Pastilha	Tamanho da lâmina † ("wafer")
1976	4 x 4 mm	6,0	10.000	7,5 cm
1979	6,5 x 6,5 mm	3,0	80.000	10,0 cm
1985	11,5 x 11,5 mm	1,0	1.000.000	15,0 cm
1990	15 x 15 mm	0,5	4.000.000	20 cm
2000	20 x 20 mm	0,2	40.000.000	Fitas?

Considerando-se o rendimento de fabricação constante, temos mostrada a evolução da área das pastilhas de CIs. Considerou-se, também, a evolução normal das tecnologias presentes, sem a utilização por exemplo de CI tridimensional ou da integração em nível de lâmina.

FONTE: ZUFFO, João Antônio. "O Presente e o Futuro das Tecnologias de Microeletrônica", Revista Politécnica, São Paulo, USP, set/out 86, nº 193, figura 3, p. 8.

Ambas as tendências - aumento do tamanho do "wafer" e a redução da espessura das linhas - além de não serem mutuamente excludentes, vêm ao encontro da exigência de redução do custo de produção na indústria de componentes, através, basi-

camente, da elevação da escala de produção e do rendimento (1).

O aumento do "wafer", que permitiria a produção de um número maior de "chips" a cada processamento, no entanto, vem se mostrando ineficaz: há obstáculos técnicos na adaptação do equipamento de processamento direto (tubos de difusão, equipamentos de deposição química a vapor, equipamento fotolitográfico (2) e sistemas de pulverização metálica), bem como nos

(1) O rendimento (ou "yield") é a taxa percentual de "chips" sem defeitos sobre o total de "chips" produzidos. É o fator de custo mais importante, e é calculado dividindo-se o processo de produção em quatro etapas: a) processamento do "wafer": rendimentos que variam entre 75% e 95%, devido a perdas por quebra de "wafers", erros de processamento e outros fatores de manuseio, perdas estas que podem ser reduzidas através de procedimentos automatizados; b) teste do "wafer": rendimentos que variam entre 5% para os circuitos mais complexos a 90% para os mais simples, com perdas decorrentes de defeitos aleatórios na pureza do material que serve como substrato e/ou da introdução de impurezas durante o processo de produção; esta taxa é função da área do "chip" e tende a diminuir com a maturidade do produto; c) montagem: rendimentos que variam entre 85% e 95%, dependendo do número de ligações e da complexidade do circuito, e que se devem a problemas de manuseio mecânico; teste final: rendimentos que variam de 60% a 90%, dependendo da complexidade do circuito, da rigidez das especificações elétricas, da perfeição e confiabilidade dos testes anteriores; as perdas nesta etapa são as mais caras, pois já foram feitos todos os gastos de processamento, montagem e encapsulamento. O encapsulamento é feito, normalmente, em salas separadas, e o rendimento varia de acordo com o material utilizado e o número de ligações.

(2) Especificamente no caso da fotolitografia, avançou-se no sentido de utilizar equipamentos do tipo repetitivo ("stop-and-repeat"), em que cada campo é registrado separadamente, reduzindo a probabilidade de defeitos devido a problemas de nivelamento da superfície do "wafer" - que crescem à medida que seu tamanho aumenta.

de manuseio e transporte (1). Mas o problema principal parece residir no fato de que os processos de fabricação se tornam, cada vez mais, sensíveis à área total de todos os "wafers", ao invés do seu número, pois as etapas de processamento tendem a ter um custo fixo por área (mm^2), independentemente do tamanho do "wafer" (2). Por isso, deste ponto de vista, tem-se tornado indiferente se o aumento da escala de produção se dá pela produção de maior número de "wafers" ou pela utilização de "wafers" maiores (3).

Assim, a tendência que vem ganhando predominância é a da redução da espessura das linhas, ou o crescimento da densidade dos circuitos, através de aperfeiçoamento na técnica de litografia. Esta linha de desenvolvimento permitiria ainda melhor rendimento através da redução do tamanho do "chip" (4), pois quando se produz um "chip" grande sobre um "wafer" imperfeito, é impossível evitar perdas, mas quando se reduz o tamanho do "chip", a probabilidade de se encontrar um defeito se reduz e o rendimento se eleva. O rendimento é um

(1) Por isso, embora os "wafers" de 125 mm ainda não sejam de uso difundido, algumas empresas vem se preparando para comprar equipamentos apropriados para o processamento de "wafers" de 150 mm que poderiam, posteriormente, ser adaptados para "wafers" de 175 mm. É importante notar que constantes mudanças no tamanho do "wafer" encarecem a padronização dos sistemas de produção automatizados.

(2) Veja o Relatório ICE-Status 1982, p. 20.

(3) A idéia de aumentar a escala de produção através da utilização de "wafers" maiores baseava-se no fato de que o aumento do "wafer" de 100 mm para 125 mm eleva a área em 56%; para um "chip" de 300 mm^2 este aumento do tamanho do "wafer" poderia resultar numa elevação de 61% de "chips" testados e aprovados (de 111 para 182 por "wafer"), com pequeno aumento no custo do equipamento. Veja o Relatório da ICE-Status 1983, p. 30 e gráfico 4, p. 41 no Anexo Técnico.

(4) Veja a figura 3 , p. 37 do Anexo Técnico.

dos parâmetros mais importantes de produtividade desta indústria, e é afetado por fatores tais como a maturidade do produto, medida pelo volume acumulado de produção (descrito pela curva de aprendizado anteriormente mencionada), a complexidade do circuito, o tamanho do "wafer" e a tecnologia de produção.

A tabela mostra a relação existente entre estes fatores. A partir dela é possível fazer-se as seguintes observações:

a) para cada nível de integração (número de bits), o maior número de "chips" bons é obtido utilizando-se "wafers" maiores e tecnologia mais moderna; inversamente, o menor número de "chips" bons é obtido com "wafers" menores e tecnologia convencional. A exceção das memórias de 64K deve-se, provavelmente, ao não amadurecimento da tecnologia por feixe de elétrons e do próprio produto - note-se que a tabela é de 1979, quando o uso desta tecnologia estava apenas se iniciando, e a memória de uso mais difundido era a de 16K.

b) a tecnologia convencional, para cada nível de integração, rende menor número de "chips" bons em "wafers" menores; inversamente, o número de "chips" bons é maior quando se utiliza "wafers" maiores. O mesmo vale para a tecnologia mais avançada.

c) para "wafers" do mesmo tamanho, a tecnologia mais avançada rende maior número de "chips" bons do que a convencional.

d) "wafers" maiores com tecnologia convencional rendem maior número de "chips" bons do que "wafers" menores com tecnologia moderna. A exceção para o caso de memórias 64K

pode ser explicada pelos mesmos motivos indicados na observação a).

TABELA 2.2 : TAXAS DE RENDIMENTO PARA SEMICONDUTORES SELECIONADOS - Conjunto de estimativas, para 1979, dos rendimentos de dispositivos de memória de diferentes complexidades e fabricados com "wafers" de diferentes tamanhos com diferentes tecnologias

Nº de bits e área de superfície do "chip"	Técnicas de Processamento e tamanho do "wafer"	Total de "chips" por "wafer"	Rendimento Estimado (%)	Número de "chips" bons
2K IBM - 17 mm ²	convencional (3")	415	75%	311
4K - 28 mm ²	convencional (3")	252	30%	75
	feixe de elétrons (3")	252	40%	100
	convencional (4")	448	35%	156
	feixe de elétrons (4")	448	45%	201
16K - 30 mm ²	convencional (3")	235	15%	35
	feixe de elétrons (3")	235	25%	58
	convencional (4")	418	20%	83
	feixe de elétrons (4")	418	30%	125
64K - 50 mm ²	convencional (3")	141	3%	4
	feixe de elétrons (3")	141	6%	8
	convencional (4")	251	3%	7
	feixe de elétrons (4")	251	6%	15

FORTE: Dados de empresas in Sterling Hobe Corporation, Transfer of Technology in the Semiconductor Industry, Washington, 1979, reproduzido em UNCTC: Transnational Corporations in the International Semiconductor Industry, 1986.

Além do aperfeiçoamento das técnicas fotolitográficas que possibilitem a redução de espessura das linhas, é preciso reduzir ao máximo a probabilidade de ocorrência de defeitos por contaminação (1).

(1) "Contaminação" é um termo que designa a presença de impurezas indesejáveis, tais como partículas de poeira, no processo de produção dos circuitos integrados. As chamadas salas de processamento (ou "clean rooms"), lugar onde os "wafers" são processados, têm controle de limpeza várias vezes superior às salas de cirurgia hospitalares.

Finalmente, a automação (1) do processo de produção de circuitos integrados vem sendo a alternativa mais adequada não apenas para elevar o rendimento, mas também, através de equipamentos flexíveis, para a diversificação dos tipos de circuitos integrados produzidos, que podem, assim, ser fabricados em pequenos lotes.

Apesar dos benefícios gerados pela automação, que incluem a ampliação do rendimento, a possibilidade de flexibilização e a redução do custo total, a automação completa da indústria de semicondutores ainda não vigora plenamente. Exceção feita ao CAD (de uso já difundido), a utilização do MCS é dificultada pela própria tecnologia de fabricação dos circuitos integrados, pois cada tipo de dispositivo passa por fases de processamento que variam em termos de tempo (de poucos segundos a várias horas), número de repetição de procedimentos e forma de manuseio (seqüencial ou em lotes); estas dificuldades, no entanto, não são insuperáveis, e já há o desenvolvimento de "softwares" especiais, apropriados para este tipo de supervisão. Por sua vez, o CAM é ainda um problema, não só para o produtor de semicondutores, como também para o fornecedor de equipamentos, pois foi originalmente criado para processos de produção bem menos sofisticados que o da indústria microeletrônica. No seu estágio atual, os equipamentos de pro-

(1) A automação na produção desta indústria pode ser definida pela interação de CAD ("computer-aided design", já comum na indústria de semicondutores), CAM ("computer-aided manufacturing", que inclui manuseio do equipamento, robótica, ferramentas automatizadas, instrumentos de inspeção e testes) e MCS ("manufacturing-control-systems", que se referem à automação do planejamento da produção, controle do material e supervisão geral das instalações).

cessamento de semicondutores não são facilmente adaptáveis à automação. Isso se deve ao fato de que o grau de precisão necessário para o manuseio e processamento dos "wafers" é muito maior do que nas outras indústrias. O controle exato das dimensões e de alinhamento é apenas uma das condições restritivas que estão sendo enfrentadas pelos produtores de equipamentos.

Além disso, é preciso reduzir o número de defeitos provocados pelos equipamentos, embora aprimorar a confiabilidade destes não seja suficiente, sendo necessário, também, adicionar capacidade de auto-diagnóstico aos equipamentos (1). Finalmente, resta resolver o problema da padronização do "design" dos equipamentos, do manuseio dos "wafers" e das interfaces entre os diversos equipamentos (2).

2.3.1. Chips sub-micron

Pode-se dizer que as pesquisas para produção de "chips" sub-micron (linhas de espessura inferiores a 1 micron) visam principalmente a elevação do tempo de processamento e redução do tamanho do componente final, características requeri-

(1) Imaginando uma fábrica automatizada que utiliza cinco máquinas com rendimento individual de 95%, estas cinco máquinas, em conjunto, terão um rendimento final de 75%, considerado muito baixo para produção automatizada. Este nível de rendimento só seria aceitável para processos de produção manuais. Veja Relatório ICE-Status 1983, p. 22-26.

(2) As empresas que fabricam a linha completa de equipamentos de produção estariam, certamente, em vantagem para enfrentar este desafio.

das especialmente para os sistemas usados em equipamentos bélicos e aeroespaciais. As pesquisas desenvolvem-se em várias frentes simultâneas: procura-se obter novos métodos de produção, pois os métodos tradicionais - projeção de uma imagem de luz ultravioleta sobre um filme fotoresistente que cobre o "wafer" de silício e sua posterior revelação fotográfica de forma a gravar o circuito sobre o "wafer" - não dispõem de lentes óticas capazes de projetar linhas muito finas; automação do processo de produção para evitar ao máximo o perigo de contaminação; pesquisa sobre novos materiais, pois os tradicionais não mantêm o comportamento elétrico adequado, provocando curto-circuitos; desenvolvimento de novos equipamentos CAD, já que a tecnologia de produção avançou à frente da tecnologia de projeto, e desenvolvimento de novos equipamentos para testes, com "softwares" especiais.

Com relação aos equipamentos, as empresas produtoras têm desenvolvido pesquisas em várias linhas: uma delas consiste numa técnica que projeta cada "chip" individualmente no "wafer", mas não é capaz de reduzir a espessura das linhas abaixo de 0,8 micron: outro equipamento é um sistema de projeção à base de raio X, capaz de projetar linhas de até 0,25 micron, com a vantagem de que o raio passa através de partículas de poeira sem criar sombras e, portanto, sem defeitos (1). Uma terceira linha de pesquisa baseia-se num siste-

(1) As empresas PERKIN-ELMER e HUGHES estão desenvolvendo estes equipamentos sob o programa VHSIC; BELL LABS, EATON, MICRONIX PARTNERS e APPLIED MATERIALS (COBILT) o fazem por conta própria (Relatório ICE-Status, 1982, p. 22). Sobre a MICRONIX, veja Business Week (BW), 10/06/85, p. 44-45.

ma de raio E (raios de elétrons), capaz de projetar linhas de 0,25 micron, mas que no entanto é muito lento para produção em larga escala (1). A automação dos equipamentos também está sendo abordada de duas maneiras distintas: sistemas totalmente automatizados (2) ou sistemas integrados, isto é, novos equipamentos que vão interligando as etapas intermediárias de produção (3).

No que se refere aos materiais, as pesquisas vão em direção às ligas à base de alumínio para fazer as ligações, pois ao nível sub-micron os metais tradicionais provocam curto-circuitos. Veremos mais adiante em que medida as outras tecnologias (como o árseneto de gálio ou as junções Josephson, entre as principais) contribuem para a resolução dos problemas encontrados nos níveis sub-micron.

A automação do design, por sua vez, tem probabilidade de ser alcançada através do compilador do silício (ou

(1) Em 1982, havia mais de 17 empresas pesquisando este tipo de equipamento, entre elas a HEWLETT-PACKARD, a VEECO e as japonesas JEOL, NTT, HITACHI e o VLSI RESEARCH LAB (Cf. Relatório ICE-Status 1982, p. 22-23). Em 1986, o equipamento da PERKIN-ELMER já estava no mercado, a um custo de US\$ 3 milhões (Informática Hoje, 14/10/86, p. 18). Além da PERKIN-ELMER e HEWLETT-PACKARD, também a VARIAN ASSOCIATES INC. desenvolve estes equipamentos (BW 10/06/85, p. 44-45).

(2) Equipamentos de FLUOROCARBON CO., que se juntou à produtora de robôs INTELLEDEX para produzi-los (BW, 10/06/85, p. 44-45).

(3) A VEECO INSTRUMENTS INC. passou a produzir veículos que carregam os "wafers" de um equipamento a outro; também a FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS optou por esta alternativa (BW 10/06/85, p. 44-45). Para maiores detalhes sobre automação de processos de fabricação de "wafers", veja os Relatórios ICE-Status 1982, p. 65-66, 1983, p. 22-26 e mid-term 1985.

"silicon compiler") (1), programas complexos que montam, automaticamente, um "design" complicado usando um "menu" de circuitos como se fossem blocos.

Finalmente, o sistema de testes necessitará de equipamentos capazes de simular os circuitos antes de produzi-los e testá-los depois da produção. Para testar circuitos já produzidos a tendência é a de incluir circuitos de testes dentro do próprio "chip" a ser testado (2), mas o problema que surge é que estes ocuparão aproximadamente 25% da área do chip, além do fato de que sua própria inclusão aumenta a probabilidade de rejeição do "chip" inteiro.

Embora a tendência de redução da espessura das linhas dos circuitos pudesse ser concomitante à redução do tamanho do "chip" - como discutimos na primeira seção deste capítulo - tem havido estudos no sentido contrário, ou seja, no sentido de aumentar o tamanho do "chip" utilizando elementos redundantes, o que não exclui a redução da espessura das li-

(1) O compilador de silício é uma peça de "software" que pode descrever o desempenho que se espera de um "chip", transformando a descrição, automaticamente, em desenhos de circuitos. É uma técnica mais avançada que a do "gate-array", na qual uma ou duas camadas finais de metal são acrescentadas a um projeto básico de "chip".

(2) Uma variante desta idéia é a do "wafer-scale chip", que veremos a seguir.

nhas (1).

2.3.2. Super-chip ou Wafer-scale Integration (WSI)

As pesquisas para produção de "chips" do tamanho de um "wafer" baseiam-se na tentativa de elevar a confiabilidade e a velocidade de processamento dos circuitos integrados, pois um dos mais difíceis obstáculos ao futuro avanço em termos de densidade dos circuitos reside na enorme quantidade de interconexões necessárias para que se possa ligar milhões de transistores num "chip" ou centenas de cápsulas de circuitos integrados numa placa de circuito impresso. Estas interconexões tendem a inibir a elevação da velocidade de comutação e o aumento da área do "chip" (2). A concepção do "super-chip",

(1) A TRW INC. está desenvolvendo um "superchip" com apoio da MOTOROLA e sob os auspícios do programa VHSIC (Very High Speed Integrated Circuits) do Departamento de Defesa Norte-americano. Este "superchip" combina a tecnologia de feixe de elétrons para a redução da espessura das linhas a 0,5 micron (esta tecnologia também está sendo pesquisada pela IBM e HONEYWELL dentro do programa VHSIC), o aumento do tamanho do "chip" dos tradicionais 1/3 de polegada para 1,4 polegadas e a utilização de elementos redundantes, que elevam a confiabilidade do "chip". O resultado final é um "chip" capaz de conter 35 milhões de transistores (os mais avançados compactam 1 milhão), mais confiável e com custos de produção relativamente menores, na medida em que se reduz a quantidade de ligações inter-chip (Fortune, 29/06/86, p. 102).

(2) A primeira concepção do "superchip" partiu da TRILOGY SYSTEMS CORP., segundo a qual as informações não teriam que passar de um chip a outro, o que consome de 1/2 a 2/3 do tempo normal de processamento. Consta que embora a empresa tenha abandonado as pesquisas (Cf. Microelectronics Monitor (MM) nº 12, out/dez 1984, p. 9-11), a INOVA MICROELECTRONICS CORP., americana, e a SINCLAIR RESEARCH LTD., inglesa, continuaram pesquisando circuitos integrados de memória DRAM WSI (Relatório ICE-Status 1984, p. 88-89).

no entanto, enfrenta sérios problemas - cuja resolução ainda não foi encontrada: são necessários novos equipamentos para produção e projeto dos "chips", além do desenvolvimento de uma técnica de resfriamento uniforme do calor gerado por um "chip" deste tamanho. Também a etapa de testes deve ser reformulada, implicando inclusive o desenvolvimento de uma maneira de retirar os "chips" defeituosos. Com o método tradicional, retiram-se os "chips" defeituosos depois de separá-los do "wafer", mas neste caso o "wafer" deverá permanecer intacto.

Com relação a esta etapa de processamento surgiram duas abordagens: a primeira consiste na abordagem híbrida, ou seja, na ligação de vários "chips" não encapsulados e retirados de diferentes "wafers", sobre a superfície de um "wafer" especial que já contenha as ligações apropriadas (1); a segunda é uma técnica que liga apenas as partes boas, fazendo-o após fabricar e testar cada módulo do circuito separadamente, isto é, haveria um circuito de interconexão especial que ligaria as partes não defeituosas de "chips" semi-defeituosos (2), para o que seria necessário que os "chips" fossem projetados com circuitos redundantes.

É difícil prever se o "super-chip" terá sucesso ou fracasso, já que entre os prováveis fatores de retardamento da adoção do WSI, além dos mencionados (novos equipamentos para projeto, produção e testes), destacam-se os investimentos de grande monta decorrentes da necessidade de alterações substan

(1) Desenvolvida pela MOSAIC (MM, nº 12, out/dez 1984, p. 9-11).

(2) Desenvolvida pela INOVA MICROELECTRONICS CORP. (BW 21/10/85 e Relatório ICE-Status 1986, p. 77).

*ciais nas técnicas de encapsulamento e montagem das placas de circuito impresso. No entanto, o simples fato de haver pesquisas nesta área demonstra a vitalidade da trajetória baseada no silício. Neste sentido, há pesquisas que objetivam desenvolver tecnologias de crescimento de cristais de oito polegadas (1).

Enquanto as pesquisas no âmbito da microeletrônica baseada no silício procuram, em grande parte, encontrar novas maneiras de acondicionar maior número de componentes dentro do "chip", de forma mais compacta, começam a abrir-se caminhos de pesquisa que usam outros materiais (como o arseneto de gálio) ou se baseiam em projetos revolucionários, como o "chip" tri-dimensional, as junções Josephson, os "chips" optoeletrônicos e até mesmo o "biochip". É o que veremos a seguir.

2.4. As Outras Tecnologias

As tecnologias que descreveremos neste item são consideradas trajetórias tecnológicas do paradigma tecnológico da microeletrônica que diferem, em maior ou menor grau, da trajetória baseada no silício. Destacam-se o "chip" de arseneto de gálio, o "chip" tri-dimensional (ou 3-D) e a optoeletrônica, como trajetórias que se baseiam em materiais já conhecidos ou em fase avançada de pesquisa - como o arseneto de gálio, o si-

(1) Embora o objetivo principal seja a elevação da produtividade da indústria eletrônica em geral e não o atendimento específico das demandas ligadas ao projeto WSI, as pesquisas estão sendo desenvolvidas pela SHIN-ETSU HANDOTAI (MM nº 9, jan/fev 1984, p. 8).

lício amorfo ou policristalino, as fibras óticas - cujas características físico-químicas são dominadas ao menos em escala laboratorial. O "chip" de arseneto de gálio, aliás, já é produzido para uso na indústria bélica e aeroespacial.

As tecnologias das junções Josephson (associada aos supercondutores) e do transistor balístico, por sua vez, mal saíram da etapa de projeto; as pesquisas pautam-se primordialmente pela procura de materiais que cumpram as especificações necessárias.

Por último, descrevemos o "biochip", cuja concepção está muito próxima, ainda, da ficção científica.

2.4.1. O "chip" de Arseneto de Gálio

O arseneto de gálio é o segundo substrato mais utilizado na indústria microeletrônica - depois do silício - e tem qualidades superiores, a saber: velocidade de movimentação dos elétrons de cinco a seis vezes superior; capacidade de emitir luz; maior eficiência de absorção de luz solar e portanto matéria-prima mais eficiente para a produção de células solares; maior resistência à radiação, característica importante no uso em satélites espaciais; bem como a capacidade de operação a temperaturas mais altas; menor consumo de energia; capacidade de combinar o processamento de dados por via eletrônica e ótica num mesmo "chip".

Apesar de sua superioridade, é pouco provável que o arseneto de gálio venha a substituir totalmente o silício, e

isso principalmente devido ao alto custo de produção (1). O maior problema continua sendo o da qualidade do material - que é muito quebradiço - e o desenvolvimento de um processo de fabricação capaz de reduzir a densidade de defeitos no cristal, de forma a que o arseneto de gálio possa ter uso generalizado. A adaptação dos equipamentos de produção de "wafers" de silício para a produção de "wafers" de arseneto de gálio ainda não é suficiente para produzir "wafers" maiores do que 125 mm de diâmetro (2). Como o custo de produção de componentes depende em boa parte do tamanho do "wafer" para elevar o rendimento, o uso generalizado do arseneto de gálio é anti-econômico. Este é o motivo pelo qual este material é utilizado como substrato apenas para componentes especiais, principalmente na indústria aeroespacial e militar, e nos modernos supercomputadores, onde as características físico-químicas do arseneto de gálio se mostram indispensáveis.

(1) Enquanto o silício é um elemento encontrado na areia comum, sendo o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre depois do oxigênio, o arseneto de gálio é um produto composto produzido pelo homem. A participação do elemento gálio na crosta terrestre é de 0,01% (Fortune, 24/06/85, p. 56-60). Um "wafer" de arseneto de gálio tem preços de 10 a 20 vezes superior ao preço de um "wafer" de silício. Sobre as inúmeras aplicações do quartzo, do qual o silício é um subproduto, veja o Anexo Técnico, itens VI, VII e VIII.

(2) Há duas técnicas conhecidas de produção de "wafers" de silício: o método "float zone", ou zona flutuante, que produz "wafers" muito puros, e o método Czochralski, que produz "wafers" maiores, sendo usado para a produção em massa. Para a produção de "wafers" de arseneto de gálio, há o método Bridgeman que produz "wafers" na forma "D" (em contraste com os "wafers" de silício que são cortados de lingotes cilíndricos e tem a forma circular) e necessita da adição de cromo; a outra técnica é uma adaptação do método Czochralski, que produz "wafers" mais arredondados e de melhor qualidade. Para maiores detalhes técnicos, veja: Relatório ICE-Status 1983, p. 27-36; Processing, março de 1984, p. 6-9; Chemical Engineering 25/05/87, p. 14-17 e Fortune 24/06/85, p. 56-60.

Quanto ao processo de produção de circuitos integrados de arseneto de gálio, este repete, para o que nos interessa, os passos do processo de produção de circuitos integrados com base no silício, razão pela qual não aprofundaremos esta seção (1).

2.4.2. O Chip Tridimensional (3-D)

O chip 3-D tem como concepção básica a acomodação dos circuitos em várias camadas, ao invés de numa só. As vantagens deste tipo de estrutura residem principalmente no fornecimento de um número maior de funções sem a exigência de redução das dimensões dos dispositivos individuais dos circuitos (a capacidade de armazenamento pode aumentar 50 vezes em relação aos chips convencionais), ou seja, cada camada pode responder por uma função diferente (2). Além disso, a disposição

(1) Veja o Anexo Técnico, item I.

(2) Uma variante desta concepção é desenvolvida pela TEXAS INSTRUMENTS: trata-se de um processo que "cava" sulcos no silício, onde serão colocados os dispositivos, aumentando, assim, a área útil do "chip" (BW, 03/02/86, p. 48). Esta tecnologia explora as propriedades mecânicas (micromecânica) e não apenas as elétricas do silício. Os dispositivos mais comuns são os microsensores, usados principalmente em aparelhos eletrodomésticos, automóveis, robótica e aplicações médicas e são fabricados da seguinte forma: "cava-se" um buraco que quase atravessa a espessura do "chip", deixando apenas uma fina membrana que responde a mudança de pressão; o movimento da membrana altera a condutibilidade do silício, e pode ser medida por circuitos no mesmo "chip" ou em algum "chip" adjacente. Para estas funções, pesquisa-se outros materiais além do silício, como o arseneto de gálio, alguns materiais cerâmicos e compostos à base de silício (BW 17/03/86, p. 78-79).

em camadas possibilita maior velocidade de processamento e, portanto, maior eficiência do "chip", na medida em que os dispositivos ficam mais próximos uns dos outros do que nos chips convencionais.

Um dos grandes gargalos tecnológicos está na obtenção de espessuras do material inferiores a um micron, pois para que o chip tridimensional funcione é preciso produzir um material composto de camadas de silício ativo, isolando uma camada da outra (1).

A produção de chips tridimensionais também necessita de equipamentos com capacidade ótica de focalizar feixes de íons com maior precisão do que os equipamentos de implantação iônica usados normalmente. O equipamento FIB ("focused-ion beam") (2) é um dos tipos de equipamentos capaz de "escrever" linhas de circuitos muito finas, até 0,1 micron mas é muito caro, complexo, extremamente sensível a vibrações e requer 150.000 volts para operar. Um outro tipo de equipamento baseia-se na tecnologia de recristalização do polisilício a laser, em que o laser permite criar as estruturas cristalinas simples necessárias para construir a segunda e terceira camada

(1) No Japão as pesquisas sobre o chip tridimensional estão sendo desenvolvidas através de um projeto-piloto no valor de US\$ 2 milhões do qual participam as empresas NEC, TOSHIBA, MATSUSHITA e OKI (Dados e Idéias (DI), abril de 1983, p. 38). Nos Estados Unidos as pesquisas sobre semicondutores tridimensionais (como o SOS - silicon-on-sapphire ou o SOI - silicon-on-insulator) são apoiadas principalmente para aplicações militares e aeroespaciais (Relatório ICE-Status 1984, p. 90).

(2) Pesquisado nos EUA, pela ION BEAM TECHNOLOGY e no Japão pela JEOL (MM nº 6, abril/junho 1983, p. 18).

de transistores (1).

Em substituição à utilização do silício monocristalino, as pesquisas se dirigem também para outras variações de silício: o polisilício (2) ou o silício amorfo (3).

(1) O primeiro circuito integrado 3-D produzido foi o da MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION, em abril de 1985, com esta tecnologia. Na opinião do ICE-STATUS 86, ainda de morará alguns anos até que estes tipos de circuitos integrados estejam disponíveis comercialmente (Relatório ICE-Status 1986, p. 80). A nível de laboratório, a NTT já desenhou um chip de 16-megabit DRAM, com equipamentos especiais, e a IBM desenhou um chip de 4-megabit DRAM com equipamentos convencionais. Ambos têm espessuras de linha de 0,7 microns e estruturas em três dimensões (BW 16/03/87, p. 57).

(2) O polisilício é quase isolante mas pode ser refinado seletivamente para se tornar semiconductor. Pesquisas neste sentido são desenvolvidas na Stanford University da Califórnia (MM nº 6, abril/junho 1983, p. 18).

(3) O silício amorfo tem sido pesquisado como base para placas de circuito impresso, capazes de comportar 10 vezes mais "chips" do que as placas atuais. Está sendo fabricado pela MOSAIC SYSTEMS INC., através da TROY (BW 17/11/87). O "wafer" de silício amorfo (com várias camadas de silício amorfo, em contraste com os tradicionais, que têm uma estrutura cristalina simples) têm a vantagem de poderem ser produzidos mais rapidamente e com menor gasto de energia do que os processos convencionais. A tecnologia baseia-se na deposição de finas camadas de material, o que também traz a vantagem de se poder produzir camadas de 0,2 micron, contra os 0,2 mm dos chips convencionais. O silício amorfo absorve luz a qualquer comprimento de onda (os tradicionais só algumas), pode absorver 100 vezes mais energia solar, e tem capacidade de armazenar imagens óticas, o que o tradicional não faz. Está sendo pesquisado pela Universidade de Western Ontário (MM nº 10/11, abril/setembro 1984, p. 14). Também o TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY pesquisa silício amorfo pela principal vantagem de ser barato (MM nº 10/11, abril/setembro 1984, p. 18).

2.4.3. Optoeletrônica

A optoeletrônica (1) abrange tanto as tecnologias ligadas às telecomunicações (como os comutadores de sinais óticos em eletrônicos usados nos sistemas de transmissão) quanto a concepção de computadores inteiramente óticos, que dispensariam o uso de "chips" eletrônicos.

As pressões para o desenvolvimento de dispositivos óticos originam-se do crescente uso de fibras óticas nas telecomunicações, pois seu desempenho em termos de transmissão tem sido prejudicado pela ineficiência dos dispositivos eletrônicos que se localizam em cada ponta do sistema e cuja função é comutar sinais óticos em eletrônicos e vice-versa. Mas esta área de pesquisa vem atraindo atenção também pela possibilidade (teórica) de que um computador ótico não apenas funcione à velocidade da luz (que é muito superior à eletrônica) mas também funcione à temperatura ambiente, o que lhe daria vantagens frente às junções Josephson (que funcionam à temperatura do hélio líquido) ou os HEMT ("high electron-mobility

(1) A optoeletrônica, que ainda está em estágio de laboratório, visa utilizar o laser num "chip" ao invés de metais. O chip ótico - combinação de silício, arseneto de gálio e fibras óticas - visa permitir o fluxo de informações de um "chip" a outro à velocidade da luz. A vantagem da utilização de fibras óticas reside na qualidade e confiabilidade superiores aos fios de cobre convencionais, além da maior flexibilidade, leveza e facilidade de instalação. O "chip" ótico está sendo pesquisado pelos laboratórios BELL da ATT e pelo Centro de Pesquisas de Palo Alto da XEROX; já foi produzido em caráter experimental pela IBM e pelo Centro de Pesquisas Thomas J. Watson (Data News (DN) 29/07/86, p. 39-54). Ver também DN, 22/07/86, p. 40-51, Scientific American v. 248, nº 2, fev 1983 (computador ótico) e Fortune 19/08/81, p. 161-164 ("chip" de imagem).

transistor") de arseneto de gálio (temperatura de nitrogênio líquido) (1).

Embora possa-se também enquadrar a memória ótica (2) como um segmento da optoeletrônica, a concepção fundamental da optoeletrônica é a utilização de "chips" óticos, baseada na teoria de que apenas "sob condições ideais ... [é que] ... os elétrons se movimentam à velocidade próxima à da luz, mas no mundo real dos chips de silício os elétrons se movem a menos do que 1% da velocidade da luz", e na avaliação de que os "aperfeiçoamentos na velocidade de computação através da diminuição da distância entre as partes eletrônicas das máquinas está encontrando limites ... [e que] ... os fótons poderiam funcionar 1.000 vezes mais rapidamente que os elétrons" (3).

(1) MM nº 6, abril/junho 1983, p. 18-19.

(2) A memória ótica baseia-se nas propriedades óticas dos corantes: "um corante tem uma determinada cor porque absorve a luz de uma determinada parte do espectro; ele é opaco à luz daquela cor. Através do raio laser é possível produzir luz da frequência apropriada e impedir que ela passe pelo corante". A memória ótica também poderia ser usada na Inteligência Artificial, uma vez que teria mais estados do que "0" e "1". As empresas que pesquisam as memórias óticas são a IBM e a NTT. Veja DI, fevereiro 1984, p. 37 e MM nº 8 outubro/dezembro 1983, p. 6-7.

(3) MM nº 16, outubro/dezembro 1985, p. 5-6: "os fótons não tem carga ou massa ... [e portanto] ... diferentemente dos elétrons exercem pouca influência sobre os fótons próximos, podendo até mesmo atravessar-se mutuamente ... Esta característica permite que se mantenham vários feixes de luz num comutador ótico separadamente, enquanto que várias correntes num único transistor inevitavelmente se misturariam". A optoeletrônica permitiria o processamento paralelo (necessário para a Inteligência Artificial) pois torna possível a construção de um dispositivo com múltiplos feixes de luz e de comutadores que operem em mais do que dois estados, abrindo espaço para outra lógica mais complexa que a lógica binária.

A construção do computador ótico (1) está sendo pensada de duas maneiras. Na abordagem híbrida, a luz seria usada para transmitir sinais dentro do "chip" e entre eles, mas os sinais seriam convertidos em sinais eletrônicos para serem processados por transistores convencionais. A estrutura destes "chips" seria semelhante aos "chips" convencionais de silício, embora provavelmente fossem feitos de arseneto de gálio já que, diferentemente do silício, o arseneto de gálio pode responder a fótons e elétrons (2). Embora estes dispositivos sejam mais vagarosos que os dispositivos totalmente óticos e a conversão de luz em sinais eletrônicos seja ineficiente e gere calor, a grande vantagem reside na possibilidade de se utilizar tais dispositivos nas telecomunicações.

A outra abordagem é a dos dispositivos totalmente óticos cuja estrutura básica compõe-se de duas superfícies refletoras de luz em cada lado de um material transparente, usando-se um cristal retangular em que os dois lados recebam polimento (3).

Qualquer que seja a abordagem, o sucesso de tais dispositivos depende da transparência dos materiais. Nos Estados Unidos e no Japão a abordagem híbrida está sendo pesqui-

(1) Principais pesquisadores: XEROX, Laboratórios BELL, HUGHES AIRCRAFT, Universidade de Kioto e Universidade de Heriott-Watt (Inglaterra) (DI, abril 1983, p. 37 e MM nº 6, abril/junho 1983, p. 18-19).

(2) MM nº 6, abril/junho 1983, p. 18-19.

(3) A idéia é que, quando um feixe de laser atinge uma das superfícies do cristal num determinado ângulo, um feixe mais fraco emergirá do outro lado, dependendo do índice de refração do cristal que, na maioria dos materiais, é uma relação constante, permitindo comutações do tipo "liga" e "desliga" (MM nº 6, abril/junho 1983, p. 18-19).

sada (1) não apenas para a área de comunicações mas também para aumentar a rapidez de funcionamento dos circuitos dentro do computador e o tempo de transmissão de dados de um computador a outro. Ou seja, a ligação entre os "chips" não mais seria feita em base de linhas metálicas e sim através de diodos emissores de luz: a idéia é que "os elétrons computam e os fótons transmitem as informações" (2).

2.4.4. Junções Josephson e Supercondutores

A tecnologia das junções Josephson se baseia numa teoria desenvolvida em 1962 pelo físico britânico Brian Josephson segundo a qual "os circuitos se tornam supercondutivos, ou perdem quase toda resistência quando esfriados até quase zero absoluto ... (para o que) ... devem ser imersos em uma substância muito fria como o hélio líquido" (3).

As junções Josephson estavam sendo pesquisadas, nos Estados Unidos, pela IBM, pelos laboratórios BELL e pela SPERRY CORPORATION, que desistiram e passaram a investir em

(1) Principalmente o GTE LABORATORIES INC. e o MITI. Este criou o OPTOELECTRONICS JOINT RESEARCH LABORATORY em 1981, com 15 empresas, financiando um programa de oito anos no valor de US\$ 75 milhões para desenvolver os circuitos integrados óticos (BW 21/05/84, p. 68-74).

(2) BW 21/05/84, p. 72.

(3) DN 13/12/83, p. 18.

projetos baseados no silício e no arseneto de gálio (1), principalmente devido à avaliação de que as pesquisas com estes materiais estavam dando melhores resultados.

No Japão, as pesquisas ainda não conseguiram solucionar os problemas de resfriamento mas prosseguem na busca de materiais supercondutores que permitam a produção de circuitos lógicos ou memórias de acesso aleatório que poderiam economizar até 90% dos custos de refrigeração (2), ou dão continuidade à pesquisa sobre a aplicabilidade do silício nas junções Josephson (3).

O futuro da tecnologia das junções Josephson para grandes sistemas de computadores depende ainda em grande parte do desenvolvimento que se puder alcançar na área dos materiais

(1) As desistências, anunciadas em 1983, não foram totais: A IBM, que desde 1976 já havia investido mais de US\$ 100 milhões, abandonou as pesquisas de desenvolvimento de dispositivos mas manteve as que se referem aos aparelhos criogênicos de resfriamento; os Laboratórios BELL, com gastos estimados entre US\$ 50 milhões e US\$ 75 milhões neste programa, suspendeu o desenvolvimento destes aparelhos e convergiu os esforços na pesquisa ótica e no arseneto de gálio (DN, 13/12/83, p. 18).

(2) Com financiamento do MITI estão envolvidas a FUJITSU, a NEC e o ELECTROTECHNICAL LABORATORIES, do próprio MITI; por conta própria, a NTT vem trabalhando num tipo especial de dispositivo baseado na tecnologia das junções Josephson, que promete resolver alguns dos problemas das comunicações à base das fibras óticas: os dispositivos convencionais que ligam as fibras óticas aos equipamentos eletrônicos, cuja função é a de converter os sinais de luz em sinais elétricos (e vice-versa) não funcionam com o comprimento de onda que melhor se adequam à utilização de fibras óticas. O dispositivo da NTT opera com comprimentos de onda de luz de 1 a 10 microns, mais adequados ao uso das fibras óticas (MM nº 9, janeiro/março 1984, p. 7).

(3) Desenvolvida pela Universidade de Tóquio; também a Universidade de Hokkaido pesquisa dispositivos baseados na tecnologia das junções Josephson (MM nº 9, janeiro/março 1984, p. 7).

supercondutores (1), mas no caso de pequenos sistemas as soluções do problema de resfriamento já estão sendo encontradas: ao invés de imergir o chip inteiro em hélio líquido, pode-se borrifá-lo com hélio líquido num canto onde se concentram os circuitos lógicos (2).

Embora a supercondutividade (3) tenha tido poucas aplicações pois os materiais disponíveis precisam ser resfriados a temperaturas muito baixas, só alcançáveis com o hélio líquido (4), vislumbra-se a possibilidade de se encontrar supercondutores à temperatura ambiente, cujas principais aplicações seriam a transmissão de energia elétrica (substituindo os fios de cobre), a construção de trens ultra-rápidos

(1) A supercondutividade se manifesta pelo abrupto desaparecimento de resistência elétrica quando se reduz a temperatura. O efeito ocorre a uma bem definida temperatura denominada de transição, que é característica de cada material específico.

(2) Esta tecnologia foi desenvolvida pela HYPRES INC., empresa fundada por um ex-pesquisador da IBM e que lançou, em 1987, pequenos instrumentos de laboratório que utilizam apenas 1 ou 2 "chips" simples, cada um deles com duas ou três dúzias de junções Josephson, o que tornou estes "chips" mais manejáveis do que os que utilizam milhares de dispositivos necessários para um computador de grande porte - e que era a tendência das pesquisas desenvolvidas na IBM (BW 09/03/87, p. 72 e BW 04/05/87, p. 76). A alternativa de trajetória escolhida pela HYPRES contrasta com a estratégia das outras empresas que pesquisam as junções Josephson para uso em supercomputadores (Relatório ICE-Status 1986, p. 85-86).

(3) A ciência básica dos supercondutores apoia-se "no fato de que um fluxo de elétrons que provoca uma corrente elétrica encontra resistência quando colide com íons e átomos do material condutor. Quanto maior a temperatura, maior a energia das partículas de resistência e maior a probabilidade de se chocarem com os elétrons... Num material supercondutor resfriado apropriadamente, a eletricidade encontra resistência próxima a zero, de forma que a corrente pode viajar longas distâncias sem dissipar energia" (Fortune, 22/06/87, p. 79-80).

(4) Além de ser um material muito caro (US\$ 11 o galão), a tecnologia de resfriamento ainda não está suficientemente desenvolvida.

(que levitam através de campos eletromagnéticos), motores (utilizando a capacidade dos supercondutores de armazenar grandes quantidades de energia elétrica), etc.

Especificamente com relação à microeletrônica, os supercondutores poderão substituir os metais que conectam os "chips", uma vez que os circuitos supercondutores comunicam-se mais velozmente do que os circuitos semicondutores, usando menos energia e gerando menos calor, possibilitando que sejam agrupados mais proximamente uns dos outros (1).

As pesquisas na área dos supercondutores, no entanto, não se resumem ao segmento de materiais metálicos: a pesquisa de ponta, nesta área, refere-se à conformação de materiais cerâmicos supercondutores que poderiam substituir o silício (2), e ao uso de materiais supercondutores nas junções Josephson (3).

Há muito que se pesquisar ainda nesta área, e o fato de que recentemente, a cada semana, mesmo revistas não es-

(1) Dentre as principais empresas que pesquisam supercondutores estão a ATT, BELL COMMUNICATIONS RESEARCH, WESTINGHOUSE, GENERAL ELECTRIC, TOSHIBA, HITACHI, MITSUBISHI, FURUKAWA e IBM. Há também um enorme número de universidades empenhadas na descoberta de novos materiais supercondutores (Fortune, 22/06/87, p. 79-85).

(2) Pesquisas para transformar o silício num supercondutor são desenvolvidas pela Universidade da Califórnia (BW 28/10/85, p. 63). Na IBM, o processo desenvolvido para produção de material supercondutor cerâmico é semelhante ao processo usado para produzir chips: o processo denomina-se deposição a vapor e consiste basicamente na deposição de material molécula a molécula, sobre uma base de material isolante (BW, 25/05/87, p. 64).

(3) IBM, HYPRES, VARIAN e WESTINGHOUSE. A VARIAN, que é empresa líder na produção de equipamentos de produção de semicondutores, pesquisa o funcionamento de filmes supercondutores criados na Universidade de Stanford.

pecializadas noticiam avanços nas pesquisas - seja em novos compostos supercondutores, seja em novos processos de produção - denota o enorme esforço que se vem fazendo para transformar a supercondutividade num produto comercial. O impacto que estes produtos poderão causar sobre a indústria microeletrônica, e, em particular, sobre a indústria de insumos para a microeletrônica, é, evidentemente, muito difícil de avaliar.

2.4.5. Transistor Balístico

A idéia do transistor balístico baseia-se no fato de que quando os dispositivos são projetados numa escala de 0,1 micron ou menos, os elétrons podem transitar através dos dispositivos numa velocidade que se convencionou chamar de balística, jargão "usado para um elétron que se move através de um dado material a uma velocidade próxima à sua máxima velocidade teórica ... A chave para o transistor balístico é fazer com que o elétron se movimente sem bater em outro elétron ... [ou seja, produzir arranjos] ... de tal forma que o espaço que um elétron tem de atravessar é o espaço de uma camada muito fina de material, e não o espaço entre duas funções 'impressas' na superfície do material semiconductor" (1).

Até agora só se conseguiu desenvolver dispositivos convencionais (transistores), embora as pesquisas também se

(1) BW, 11/02/85, p. 26. O espaço entre duas camadas de material é bem menor do que o espaço entre funções impressas na superfície de uma mesma camada.

• apliquem aos circuitos integrados balísticos, com base no silício, mas principalmente com base no arseneto de gálio.

Para que o circuito integrado balístico possa se tornar um produto comercial, há ainda muito o que fazer: será necessário desenvolver novos conceitos e modelos matemáticos para descrever e construir os computadores: será necessssário equipar os "chips" com sistemas de comunicação interna (ligações) à base de fibras óticas (1) e também desenvolver novos materiais (2), pois no silício o efeito balístico só é possível com transistores de 0,01 micron (3).

O sucesso do transistor balístico está na dependência do sucesso que se possa alcançar com o arseneto de gálio (neste a velocidade balística é alcançada com transistores de 0,3 micron) (4) e é esta a direção que está sendo tomada pela maioria das pesquisas. Até agora, a primeira aproximação ao transistor balístico é o HEMT ("high electron-mobility transistor"), que é um dispositivo experimental construído com laminações especiais de dois materiais à base de arseneto de gálio, cuja estrutura produz uma região em que os elétrons po

(1) Optoeletrônica.

(2) Os laboratórios BELL fabricaram um novo material semiconductor que poderá servir para produzir transistores balísticos (BW, 11/02/85, p. 23-26).

(3) As pesquisas mais avançadas estão conseguindo produzir transistores de 0,75 microns (BW, 14/03/85, p. 70-71).

(4) Os equipamentos de produção de circuitos integrados poderão alcançar este patamar em alguns anos (BW, 14/03/85 p. 70-71).

dem se movimentar de 4 a 6 vezes mais rápido do que no silício (1).

Especificamente com relação ao arseneto de gálio, as maiores dificuldades são com a produção em massa, tanto do material de alta qualidade para "wafers" quanto de uma técnica confiável de processamento dos "chips".

Há várias alternativas para a produção de "wafers" de arseneto de gálio: um processo denominado LEC - "liquid encapsulated czochralski", que é um refinamento de um processo já utilizado para a produção de "wafers" de silício (2). Uma segunda alternativa consiste numa tecnologia diferente da usada na produção de silício, e produz "wafers" de arseneto de gálio pela deposição de camadas deste material, da espessura

(1) O dispositivo foi primeiramente projetado pelos Laboratórios BELL e logo em seguida os japoneses iniciaram seu próprio trabalho de desenvolvimento (DN, 22/07/86, p. 49). O dispositivo desenvolvido pela FUJITSU precisa ser resfriado à temperatura do nitrogênio líquido, que é superior à do hélio líquido, usado nas junções Josephson (MM nº 7, julho/setembro 1983, p. 9-10). As outras instituições que pesquisam o HEMT de arseneto de gálio são: ATT BELL LABS, Universidade de Tohoku, ELECTROTECHNICAL LABORATORY, ATT TECHNOLOGIES INC., INSTITUTE DE L'ELECTRONIQUE FONDAMENTALE, HUGHES AIRCRAFT, ROCKWELL INTERNATIONAL, WESTINGHOUSE, MIT-MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY e GENERAL ELECTRIC, sendo que a última gastou, de 1981 a 1984 mais de US\$ 15 milhões neste projeto (BW, 14/03/85, p. 70-71). A estrutura do HEMT, também chamada heterojunção ou supertrama, pode ser usada para integrar monoliticamente as funções óticas e eletrônicas (DN, 29/07/86, p. 53).

(2) Desenvolvido por um laboratório optoeletrônico japonês (OPTOELECTRONICS JOINT RESEARCH LABORATORY), num projeto no valor de Y 18 bilhões (ou US\$ 75 milhões) cujo objetivo final é produzir "chips" de arseneto de gálio capazes de comutar sinais óticos e eletrônicos. O processo de produção de chips de arseneto de gálio é semelhante ao de produção de chips de silício (MM nº 7, julho/setembro 1983, p. 9-10).

de moléculas (1). Este processo, denominado "metal organic chemical-vapor deposition" tem a vantagem de poder produzir camadas ligeiramente diferentes, dopadas com elementos diferentes, resultando em estruturas de materiais compostos - chamados "lattices" (2) - necessárias aos transistores balísticos. Uma terceira alternativa (3) é a produção de "wafers" de arseneto de gálio por um processo denominado "molecular-beam epitaxy" - MBE (4), que possibilita a obtenção de lâminas de silício ou arseneto de gálio com superfícies quase perfeitas: o processo "pinta" uma superfície com uma camada de átomos, construindo novos materiais por camadas atômicas, produzindo estruturas que permitem a fabricação de transistores mais rápidos do que os comuns, e que além disso podem ter vários estados e não apenas "on" e "off", ou seja, estariam aptos para aplicações em inteligência artificial (5).

(1) Desenvolvido pela EMCORE, empresa fundada por ex-pesquisadores dos laboratórios BELL, e que vende equipamentos para produção de "wafers" de arseneto de gálio (BW, 07/10/85).

(2) Estas estruturas são cristais construídos alternando-se camadas de vários compostos. Para as várias técnicas de produção de "lattices", veja MM nº 7, julho/setembro 1983, p. 10-11.

(3) Desenvolvida pela PICOGIGA empresa francesa fundada por ex-pesquisadores da THOMSON (BW, 08/12/86, p. 38).

(4) Este processo foi inventado pelos laboratórios BELL e está sendo usado pelo OPTOELECTRONICS JOINT RESEARCH LABORATORY, do MITI, para produzir vários tipos de novos materiais, assim como pela ALLIED SIGNAL, WESTINGHOUSE, GENERAL ELECTRIC, HITACHI, TDK, SIEMENS, DU PONT e ICI para diferentes usos. Na União Soviética o processo levou à descoberta da deposição de finas camadas de diamante sobre a superfície de outros materiais. No Japão, mais de vinte empresas estão pesquisando os filmes de diamante, entre elas a SUMITOMO, a CHAWRA-DENKO e a SONY. Nos Estados Unidos, os filmes de diamante estão sendo pesquisados para substituir o arseneto de gálio (Fortune, 13/10/86, p. 26-28) ou como cobertura de resfriamento do silício (BW, 07/07/86, p. 61).

(5) Pesquisas neste sentido estão sendo desenvolvidas pela ATT BELL e pela GENERAL ELECTRIC (BW, 20/10/86, p. 54, Relatório ICE-Status 1986, p. 84-85 e FSP 11/02/87).

2.4.6. Biochip

Dentre as tecnologias do século XXI já se fala na eletrônica molecular - ou bioeletrônica - que surgiria do cruzamento entre a microeletrônica e a engenharia genética. As pesquisas nesta área visam a construção do "biochip", versão orgânica do chip de silício e que seria menos suscetível às interferências eletromagnéticas que vêm pondo limites à compactação dos circuitos integrados convencionais inorgânicos (1).

Os sistemas biológicos têm características que poderiam ser utilizadas para transmissões das informações, tais como o pequeno tamanho, funções complexas, condução sem dissipação de energia, necessidade mínima de fontes de alimentação e reconhecimento de símbolos e padrões inteligentes. Além disso, "componentes baseados em moléculas orgânicas, chamadas Molecular Electronic Devices - MED - reduziriam o tempo de transmissão por conseguirem reunir os componentes mais proximamente ... criando circuitos dez vezes mais rápidos" (2).

(1) O advento da tecnologia de recombinação do ADN (ácido de soxiribonucleico) - molécula que está no centro das células e contém as informações programadas sobre sua reprodução e desenvolvimento no organismo vivo - permite à engenharia genética reprojetar as proteínas com as propriedades eletrônicas de condução elétrica e chaveamento. Para se projetar um "biochip" "cria-se uma molécula ADN (denominada genoma) que é inserida numa célula biológica por um mecanismo semelhante ao da propagação do vírus, que invade o organismo e se reproduz ... o genoma do "biochip" se reproduzirá quando injetado numa célula biológica, levando todas as informações necessárias ao funcionamento do computador biológico" (INFO, setembro 1985, p. 22-26).

(2) FSP 24/12/86. Os principais pesquisadores de "biochip" são: a Universidade de WAYNE, TOKYO ELECTRIC COMPANY, IBRAKI, GENTRONIX, IRD, SUNTORY, GENEX-ALLIED CORPORATION e EMV ASSOCIATES (INFO, setembro 1985, p. 22-26), Laboratórios BELL e IBM (DN, 22/07/86, p. 51).

Os "biochips" ligam-se às teorias de processamento paralelo, com base em "redes neurais", que processam informações constante e coletivamente, e não bit por bit, como os computadores digitais convencionais.

2.5. Comentários Finais

O estágio atual das pesquisas em microeletrônica não permitem que se chegue a qualquer conclusão definitiva sobre o futuro desta tecnologia. Mesmo avaliações sobre a tendência de cada uma das trajetórias descritas, ainda que genéricas, tornam-se extremamente arriscadas, dado o caráter embrionário da maioria delas, o que faz com que se assemelhem - ainda - à ficção científica.

Pretendemos aqui, apenas, sublinhar alguns dos aspectos que consideramos mais importantes.

O que fica indubitavelmente demonstrado é que a trajetória baseada no silício é, ainda, predominante como base técnica da microeletrônica. As pesquisas concentram-se principalmente em novos equipamentos de produção de componentes microeletrônicos, cuja utilização imediata nas linhas de produção é refreada muito mais pelo que representam em termos de sucateamento da capacidade instalada do que por questões puramente técnicas. Por outro lado, a utilização de equipamentos de produção mais sofisticados é incentivada pela forma de concorrência predominante na indústria microeletrônica; em que a redução de preços é sustentada por redução de custos e elevação do ren-

imento (e qualidade).

No que se refere aos materiais, o que tem maior potencialidade para substituir o silício é o arseneto de gálio. O "chip" de arseneto de gálio configura, no entanto, no seu atual estágio de desenvolvimento, mais uma área de complementariedade com a trajetória baseada no silício do que de concorrência: é complementar a ela no sentido de procurar aprimorar os mesmos "trade-offs" a partir dos mesmos princípios científicos e técnicos, usando alguns materiais e equipamentos de produção comuns aos usados na tecnologia do silício; é complementar, ainda, pois não apenas os produtos baseados na tecnologia do arseneto de gálio são perfeitamente compatíveis com os "chips" de silício, como dificilmente o substituirão por completo. O mesmo vale para o "chip" 3-D.

A diferença está, em primeiro lugar, na utilização de diferentes materiais que exigem tecnologias de produção adaptadas, inclusive equipamentos, e que apresentam novos problemas técnicos e econômicos a serem resolvidos. Em segundo lugar, diferem da trajetória baseada no silício por criarem produtos que, embora compatíveis e complementares aos produtos baseados no silício, poderão ser mais eficientes (esta característica é mais evidente com relação ao "chip" de arseneto de gálio do que com relação ao "chip" 3-D). A potencialidade substitutiva do arseneto de gálio só pode ser compreendida através da experiência conhecida, de que os produtos produzidos para uso militar e aeroespacial - notadamente nos Estados Unidos - são, numa fase posterior de seu ciclo de vida, adaptados para o mercado civil. Além disso, o arseneto de gálio é um forte candidato a insumo básico da optoeletrônica.

É interessante notar, ainda, que as pesquisas dedicadas ao desenvolvimento de materiais para uso em microeletrônica - em particular, o arseneto de gálio - poderão acabar por criar materiais que substituam aqueles para os quais as tecnologias vinham sendo desenvolvidas.

A despeito destes comentários, no entanto, nada indica que o silício perca num horizonte previsível seu lugar como insumo básico da microeletrônica.

Por sua vez, as junções Josephson e a tecnologia da optoeletrônica estão baseadas em técnicas e princípios que transcendem a aplicação na microeletrônica. As junções Josephson, que chegaram a representar uma alternativa - em termos de pesquisa - à trajetória baseada no silício, parecem ter fracassado neste sentido. No entanto, deixaram em aberto a pesquisa relativa à supercondutividade, cujos resultados em termos práticos com certeza ultrapassarão a aplicação em microeletrônica. Da mesma forma, a optoeletrônica, em particular na sua versão mais radical (os "chips" inteiramente óticos) poderá revolucionar toda a indústria de informática e de comunicações.

Finalmente, queremos ressaltar que a descrição das pesquisas relativas ao transistor balístico e ao "biochip" teve apenas a intenção de destacar o caráter embrionário destas pesquisas que, não obstante, parecem criar uma área comum ao que se convencionou denominar "novas tecnologias", - ou novos paradigmas - em particular a microeletrônica, os novos materiais e a biotecnologia.

CAPÍTULO 3
O SETOR DE INSUMOS PARA A MICROELETRÔNICA
A NÍVEL MUNDIAL

3.1. Introdução

Este capítulo visa analisar o desempenho do mercado de insumos para a microeletrônica - especificamente, equipamentos para produção de semicondutores e materiais de grau eletrônico -, assim como a estrutura destas indústrias. O objetivo é subsidiar a avaliação da necessidade e/ou viabilidade da integração da indústria microeletrônica brasileira.

Nossa hipótese é que atuam, neste segmento, duas forças contraditórias. Primeiro, estamos supondo haver estratégias de concorrência pautadas na verticalização e/ou concentração que podem gerar restrições à produção nacional de componentes microeletrônicos, ao modificar, eventualmente, o caráter da produção de insumos em mercado aberto para produção cativa. Assim, a necessidade de integração será tanto maior quanto maior for a velocidade de verticalização e/ou concentração das empresas produtoras de insumos a nível internacional. Tal possibilidade seria tanto mais grave quanto se aceite o exposto no capítulo 2, a respeito da crescente interação entre o desenvolvimento tecnológico no segmento de insumos e na indústria microeletrônica, resultando em equipamentos eletrônicos finais cada vez mais sofisticados.

Em segundo lugar, é de se esperar que quanto maior a velocidade do processo de verticalização e/ou integração, menor será a disponibilidade de acesso à tecnologia desenvolvida nos países avançados, o que poderá reduzir significativamente a viabilidade da estratégia de integração vertical para o Brasil. A não ser, e mesmo assim sem garantias de

sucesso, que se fizessem significativos esforços de pesquisa e desenvolvimento.

O capítulo está dividido em 5 seções: nas duas primeiras analisamos o padrão de concorrência da indústria de equipamentos (seção 3.2) e o desempenho do mercado de equipamentos na década de 80 (seção 3.3). A seção terceira analisa rapidamente os programas de pesquisa nas áreas da microeletrônica, equipamentos de produção e materiais nos Estados Unidos, Japão e Europa Ocidental, mostrando que os avanços verificados na década de 80 resultaram da significativa atuação dos governos nacionais. As duas últimas seções (3.5 e 3.6) repetem o tipo de análise das primeiras, para a indústria de materiais de grau eletrônico.

3.2. Indústria de Equipamentos

A indústria produtora de equipamentos para produção de semicondutores é formada por dois grandes grupos: um grupo produtor cativo, ou seja, que produz equipamentos para uso próprio, interno, composto por algumas grandes empresas da indústria eletrônica: TEXAS INSTRUMENTS, WESTERN ELECTRIC e IBM, nos Estados Unidos, MATSUSHITA no Japão e as européias PHILIPS (holandesa) e SIEMENS (alemã) (1).

(1) Veja U.S. Congress- Office of Technology Assessment (OTA): International Competitiveness in Electronics, Washington, novembro 1983, p. 144. Infelizmente não dispomos de dados sobre a produção de equipamentos deste grupo de empresas.

O outro grupo é formado por diversas empresas, de tamanhos diferentes, às vezes especializadas na produção destes equipamentos, com diferentes graus de diversificação e, na sua grande maioria, norte-americanas - embora a participação japonesa nesta indústria venha crescendo (1).

A indústria de equipamentos para produção de circuitos integrados é subdividida em três segmentos; equipamentos para processamento de "chips" (utilizados no processo de difusão dos circuitos sobre a placa de silício, ou "wafer"), os equipamentos de teste e inspeção (que podem ser manuais, semi-automáticos ou totalmente automatizados) e os equipamentos de montagem (que incluem os utilizados para as etapas que vão desde a separação dos "chips" dos "wafers" até o encapsulamento).

O quadro das empresas que compõem esta indústria (2) nos permite verificar que são poucas as empresas que fornecem equipamentos dos três segmentos. (processamento; teste e inspeção; montagem) e que, dentre as que o fazem, a maior parte - em especial as americanas - diversificaram-se através da compra de pequenas firmas especializadas no final dos anos 70 e início dos 80.

Apresentamos a seguir dados de vendas das principais empresas desta indústria, por tipo de equipamento, para os anos de 1984, 1985 e 1986. O que primeiro nos chama a aten-

(1) As principais exceções são: FAIRCHILD TEST SYSTEMS, divisão da FAIRCHILD CAMERA AND INSTRUMENTS, originariamente norte-americana e comprada pela SCHLUMBERGER, francesa, em 1979, especializada em equipamentos automáticos de teste para circuitos integrados e a CENSOR de Liechtenstein, especializada em equipamentos litográficos.

(2) Veja o Apêndice a este capítulo.

ção é a relativa instabilidade da presença das empresas no "ranking", que pode ser interpretada como sendo decorrente da forte concorrência que vigora na indústria (1). Este comentário, no entanto, deve ser relativizado, já que a fonte da tabela fornece informações apenas para as duas maiores produtoras de cada tipo de equipamento.

Se vista por segmento, a indústria mostra-se bastante concentrada, embora o grau de concentração varie por tipo de equipamento. Verifica-se ainda que as empresas líderes que aparecem nesta tabela são, em grande parte, as mais diversificadas (2), especialmente as do segmento de equipamentos para processamento, como é o caso da ASM, EATON, GCA, PERKIN-ELMER, TOKYO ELECTRON e VARIAN, mas também no segmento de equipamentos de montagem (GENERAL SIGNAL e em menor grau KULICKE & SOFFA) e no de equipamentos de teste (GENERAL SIGNAL e TOKYO ELECTRON). Além disso, apesar de diversificadas, as empresas líderes têm liderança em produtos específicos: na produção de equipamentos de processamento, apenas cinco empresas (GCA, VARIAN, APPLIED MATERIALS, PERKIN ELEMER e TEL-THERMCO) são líderes em mais de um tipo de equipamento; no segmento de equipamentos de testes, apenas uma empresa (SCHLUMBERGER, ou, mais especificamente, sua subsidiária norte-americana FAIRCHILD TEST SYSTEMS) e no segmento de montagem, apenas duas (GENERAL SIGNAL e SHINKAWA).

(1) São comuns os relatos de perdas grandes (embora parciais) de parcelas de mercado por parte de empresas que se atrasam no desenvolvimento de determinados equipamentos. Veja os Relatórios ICE-Status 1982 (p. 17-19) e 1983 (p. 16-21).

(2) Conforme quadro a que já se fez referência, e que se encontra no Apêndice a este capítulo.

TABELA 3.1: EQUIPAMENTOS DE PROCESSAMENTO - VENDAS MUNDIAIS EM US\$ milhões

Empresas	1984						1985						1986									
	Deposição		Lito- grafia	Corre- ção	Fornos Difusão	Implantação Iônica	Sistemas Epitaxiais	Deposição		Lito- grafia	Corre- ção	Fornos Difusão	Implantação Iônica	Sistemas Epitaxiais	Deposição		Lito- grafia	Corre- ção	Fornos Difusão	Implantação Iônica	Sistemas Epitaxiais	
	Química	Física						Química	Física						Química	Física						
Tokyo Electron	54														23							
Eaton						146							126								53	
GCA			186 ¹						171													
Nikon			187 ¹																			
Varian		63				177			75				126			57					53	
Applied Materials				80			66				114			61				75				51
ASM America	24														46							
Materials Research		38														42						
Total				46							38											
Tel-Thermco					64			37	45			90								51		
Bruce					45							56								30		
Cemini							19							26								17
Perkin-Elmer			164 ²					63		285							218					
Canon			103 ²														175					
LAH Research																		38				
Subtotal	75	101	640	126	109	323	75	100	120	456	152	146	252	87	69	99	393	113	81	1106	68	
Total	217	286	1.043	356	207	330	158	250	360	1.130	380	225	420	175	230	288	873	326	203	178	171	
Concentração	36%	35%	61% ³	35%	53%	98%	54%	40%	40%	40%	40%	65%	60%	50%	30%	34%	45%	30%	40%	60%	40%	

NOTAS: 1 - "steppers"
2 - equipamentos de projeção
3 - Quatro maiores

FONTES: Elaboração própria, a partir de VLSI RESEARCH INC., in: *Electronics Business*, 15/05/85, p. 112-113 *Electronics Business* 15/05/86, p. 74-75 e *Electronics Business* 01/05/87, p. 94-95.

TABELA 3.2: EQUIPAMENTOS DE MONTAGEM: VENDAS MUNDIAIS EM US\$ milhões

Empresas	1984				1985 (ano fiscal)				1986 (ano fiscal)			
	Corte de "wafers"	"Die bonders" ¹	"wire bonders" ²	Encapsu lamento	Corte de "wafers"	"Die bonders"	"wire bonders"	Encapsu lamento	Corte de "wafers"	"Die bonders"	"wire bonders"	Encapsu lamento
General Signal	16	21			12	25			5			
Disco	25				28				37			
Foton		24				37						
Kulicke & Soffa			107				110				55	
Shinkawa			56				55			11	47	
Yamada								43				35
Kras								29				
Esec										10		
Towa												35
Subtotal	41	45	163	-	40	62	165	72	42	21	102	70
Total	47	101	235	-	50	125	220	290	53	67	158	233
Concentração	87%	45%	69%	-	80%	50%	75%	25%	79%	31%	65%	30%

FONTE: Elaboração própria, a partir de VLSI RESEARCH INC., In: Electronics Business, 15/05/85, p. 112-113, Electronics Business 15/05/85, p. 74-75, Electronics Business, 01/05/87, p. 94-95.

Obs.: 1 - "die-bonders" são os equipamentos que soldam o "chip" sobre um terminal.

2 - "wire-bonders" são os equipamentos que soldam os fios entre os terminais e os terminais de montagem.

TABELA 3.3: EQUIPAMENTOS DE TESTES - VENDAS MUNDIAIS EM US\$ milhões

Empresas	1984		1985 (ano fiscal)		1986 (ano fiscal)	
	"wafers"	Circuitos	"wafers"	Circuitos	"wafers"	Circuitos
General Signal	45					
Tokyo Electron	67					
Teradyne		230				114
Takeda Riken		129		160		
Kla Instruments			72			
Nanometrics			24		68	
Schlumberger				160	23	114
Avantest						229
Subtotal	112	359	96	320	91	457
Total	154	1.234	480	1.070	451	1.144
Concentração	73%	29%	20%	30%	20%	40% ¹

1 - três maiores.

FONTE: Elaboração própria, a partir de VLSI RESEARCH INC., In: Electronics Business 15/05/85, p. 112 e 113, Electronics Business 15/05/86, p. 74-75, Electronics Business 01/05/87, p. 94-95.

A tabela a seguir apresenta dados de vendas de equipamentos (em geral) das principais empresas. Embora de difícil comparação, pois as fontes são diferentes (e, provavelmente, também a metodologia de coleta), estes dados nos permitem resumir os comentários anteriores da seguinte forma:

A indústria de equipamentos para produção de circuitos integrados é relativamente concentrada e caracteriza-se por forte concorrência tecnológica, especialmente no segmento de equipamentos de processamento, que representa a etapa mais sofisticada do processo de produção de circuitos integrados, e base principal do progresso técnico da indústria de componentes microeletrônicos.

A liderança se expressa na capacidade de fornecer maior variedade de equipamentos (do mesmo segmento ou de segmentos diferentes), ou seja, na diversificação. A lógica da diversificação nesta indústria é explicada pela necessidade de fornecer linhas de produção o mais completas possível, com o que se permite maior integração com a indústria de componentes microeletrônicos e a condução do desenvolvimento tecnológico desta indústria, sem que seja necessária a internalização da produção de circuitos integrados (1).

Ao mesmo tempo, a produção de diferentes equipamentos torna-as menos vulneráveis à perda de competitividade, especialmente numa indústria em que o progresso técnico, sendo

(1) Apenas algumas empresas produtoras de equipamentos têm salas de processamento ("clean rooms"), construídas principalmente para testar o desempenho de seus equipamentos. É interessante notar que estas são exatamente as líderes.

TABELA 3.4: PRINCIPAIS EMPRESAS FORNECEDORAS DE EQUIPAMENTOS DE PRODUÇÃO - VENDAS EM US\$ milhões

Empresas	1979 ¹	1979 ²	1979 ³	1980 ⁴	1981 ²	1981 ⁵	1982 ⁵	1982 ⁶	1983 ⁵	1984 ⁷	1985 ⁸	1986 ⁹
Schlumberger (Fairchild)	111	111	111	-	83	-	-	155	-	186	181	139
Perkin-Elmer	101	106	101	150	186	170	166	150	172	274	330	264
Applied Materials	54	75	54	90 ^a	104	80 ^a	86 ^a	90 ^b	93 ^a	168	169	149
GCA	54	56	54	110	142	140	68	70	75	212	177	128
Teradyne	53	53	53	-	79	-	-	65	-	200	187	120
Varian	51	61	51	97	75	91	94	100	97	185	216	137
Textronix	39	-	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eaton	38	64	38	40	64	45	40	65 ^d	42	219	185	-
Kulicke & Soffa	37	36	37	-	37	-	-	55	-	-	125	60
Balzers	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Takeda Riken (Fujitsu)	-	26	-	-	55	-	-	55	-	-	-	-
Canon	-	17	-	50	48	48	55	65	63	176	-	155
General Signal	-	-	46	22	-	20	30	100 ^c	40	268	218	155
Materials Research	-	-	-	30	-	30	30	-	35	-	-	-
Veeva	-	-	-	22	-	20	20	-	21	-	-	-
Kokusai Electric	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-
Oliver	-	-	-	-	-	24	28	-	35	-	-	-
NEC	-	-	-	-	-	-	-	95 ^e	-	-	-	136 ^g
Avantest	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	179	238
Tokyo Electron - Tel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	246	307 ^f	166
Nikon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200	-	148

NOTAS E FONTES:

- (1) Global Electronics Information Newsletter nº 4, set-out 1980, reproduzido em Ernst, D. *Restructuring World Industry in a Period of Crisis - The Role of Innovation (an analysis of recent developments in the Semiconductor industry)*, prepared by the Global and Conceptual Studies Branch Division for Industrial Studies, UNIDO Working Papers on Structural Changes, UNIDO, dezembro 1981.
- (2) VLSI Research Inc., in: Electronics News 08/03/82, reproduzido em US Congress - Office of Technology Assessment - OTA: *International Competitiveness in Electronics*, Washington, novembro de 1983 (vendas em mercado aberto).
- (3) *Business Week*, 01/12/80, p. 98-NE, reproduzido em Ernst, D.: *op. cit.*, p. 186.
- (4) Relatório ICE-Status 1982, p. 17 (exclui produção de equipamento por feixe de elétrons da Perkin-Elmer, no valor de 10 a 15 milhões de dólares e equipamentos de teste de wafers da General Signal).
- (5) Relatório ICE-Status 1983, p. 116 (exclui equipamentos para produção de máscaras, equipamentos de teste e de montagem).
- (6) Electronics News 07/03/83, citado em Global Electronics Information Newsletters abril de 1983, reproduzido em *Microelectronics Monitor*, nº 6, abril/junho 1983, p. 25.
- (7) VLSI Research Inc., in: *Electronics Business*, 15/05/85, p. 106.
- (8) VLSI Research Inc., in: *Electronics Business*, 15/05/86, p. 71 (ano fiscal).
- (9) VLSI Research Inc., in: *Electronics Business*, 01/05/87, p. 81 (ano fiscal).

a - inclui as vendas da COBILT, comprada em 1979.

b - inclui as vendas da COBILT e GASONICS

c - inclui as vendas da ELECTRON BEAM MICROFABRICATION, EMPRESS e ULTRATECH

d - inclui as vendas da DAVIS & WILDER, NOVA e OPTIMETRIX

e - inclui as vendas da ANELVA, KAIJO e ANDO

f - joint-venture com a VARIAN no segmento de implantadores iônicos, creditado à TEL nesta tabela

g - apenas vendas da ANDO

a principal arma de concorrência, é característico de uma indústria cuja base técnica encontra-se em franca e rápida evolução.

É, aliás, a velocidade da evolução tecnológica desta indústria que explica o fato de que, no final dos anos 70 e início dos 80 - especialmente nos Estados Unidos - a estratégia de diversificação tenha se pautado principalmente na aquisição de pequenas empresas periféricas, extremamente especializadas. Por outro lado, a crescente intensificação de capital vigente nesta indústria tem levado, nos anos mais recentes, a que as empresas assinem acordos de "joint-ventures" e "joint-research", com ou sem apoio ou financiamento governamental. Este é o assunto de que trata a seção quarta deste capítulo.

3.3. Mercado de Equipamentos

Em 1987 as vendas mundiais de equipamentos e componentes eletrônicos foram da ordem de US\$ 388 bilhões, dos quais, aproximadamente, 45% nos Estados Unidos, 25% no Japão e 30% na Europa. Já o mercado mundial de componentes semicondutores (discretos e circuitos integrados) foi de US\$ 32,4 bilhões, sendo que deste total 40,5% referem-se às vendas no mercado norte-americano, 40,9% no Japão e 18,6% na Europa.

Por sua vez, o mercado de equipamentos de produção e testes de semicondutores atingiu a cifra de US\$ 7,2 bilhões, com participações respectivas de 56,7% (Estados Unidos) 32,7% (Japão) e 10,6% (Europa).

Embora de pequena importância relativa em termos de valor (pouco mais de US\$ 4,7 bilhões, ou 1,55% do total da indústria), o desempenho do segmento de equipamentos de produção de semicondutores (excluindo os equipamentos automáticos de teste) mostrou-se extremamente vigoroso no período 1981-87, com a segunda maior taxa de crescimento (23,5%), abaixo apenas do segmento de componentes semicondutores optoeletrônicos (24,6%). Regionalmente, verifica-se a mesma relação: nos Estados Unidos o mercado destes equipamentos cresceu 17,9% perdendo apenas para o mercado de equipamentos de comunicação (25,2%); no Japão, foi o segmento que apresentou a maior taxa de crescimento (36,6%); na Europa, foi o terceiro (20,7%), empatando com o mercado de circuitos integrados e perdendo para o de componentes optoeletrônicos (23,9%) e equipamentos de processamento de dados (22,4%) (1).

Os dados das tabelas 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8 mostram que a taxa de crescimento do mercado de equipamentos de produção de semicondutores no ano de 1984 (123% a nível mundial) é completamente atípica, já que nos anos anterior e posterior foi de 21%. O mesmo ano é também o de taxas máximas nos Estados Unidos (165%), no Japão (84%) e na Europa (34%), atípico a nível regional.

Este desempenho não se explica por investimento induzido, ou seja, não se explica pelo crescimento do mercado de semicondutores no período anterior nem resulta em crescimento da produção de componentes no período posterior. Tanto

(1) Dados elaborados a partir da revista Electronics, vários números.

TABELA 3.5: MERCADO NORTE-AMERICANO DE EQUIPAMENTOS E COMPONENTES ELETRÔNICOS - US\$ milhões

	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987 ¹	81/87
Equip. Comunicação	4.158	5.700	6.387	8.156	9.582	18.282	19.637	22.946	24.626	25,22
Proces. Dados e Escrit.	26.638	33.061	44.312	53.347	63.353	51.741	64.303	64.792 ²	74.568 ²	9,06
Consumo ³	12.153	16.370	22.518	17.825	20.084	20.085	27.250	21.692	22.402	-0,08
Equip. Industriais ⁴	1.787	3.464	3.412	5.411	6.360	6.784	5.955	5.372	5.675	8,85
Equip. Teste e Medição ⁵	2.216	2.953	2.197	2.767	3.177	3.902	3.861	3.973	4.333	11,98
CAD-CAE	-	-	-	-	-	-	780	998 ⁶	1.321 ⁶	-
Subtotal	46.952	61.548	78.826	87.506	102.556	100.794	121.786	119.773	132.925	9,10
Equip. Prod. Semicond.	673	675	904	851	958	2.538	2.757	2.228	2.435	17,96
Equip. Autom. Teste	463	820	969	1.176	1.578	2.086	1.870	1.527	1.686	9,67
Subtotal	1.136	1.495	1.873	2.027	2.536	4.624	4.627	3.755	4.121	14,04
Instr. Médicos e Analit.	2.572	3.023	4.026	4.697	5.070	-	-	-	-	-
Total Equipamentos ⁷	50.660	66.066	84.725	94.230	110.162	105.418	126.413	123.528	137.046	8,34
Comp. Eletrônicos ⁸	9.616	10.693	11.989	12.053	13.106	19.183	16.762	20.970	22.630	11,17
Comp. Semicondutores	5.036	6.634	6.732	8.624	10.091	15.033	10.396	11.221	13.151	11,81
Discretos	1.154	1.255	1.338	1.270	1.370	1.657	1.460	1.764	1.909	6,10
Circuitos Integrados	3.626	5.190	5.141	7.083	8.412	12.994	8.665	9.151	10.901	13,34
Optoeletrônicos	256	189	253	271	309	362	271	306	341	5,10
Total Componentes	14.652	17.327	18.721	20.677	23.197	34.216	29.158	32.191	35.781	11,40
Total Indústria ⁹	65.312	83.393	103.446	114.907	133.359	139.634	155.571	155.719	172.827	8,93

1 - estimativa

2 - exceto para escritório

3 - inclui dispositivos eletrônicos para automóveis

4 - exceto equipamentos para produção de semicondutores

5 - exceto equipamentos automáticos de teste

6 - inclui CAM

7 - exclui equipamentos para escritório

8 - inclui power supplies (fontes de força)

9 - exclui consumo do governo federal e equipamento militar

FONTE: 1986 e 1987, *Electronics* 07/01/88, pp. 63-100; 1985, *Electronics* 08/01/87, pp. 51-74; 1984, *Electronics* 06/01/86, pp. 39-58; 1982 e 1983, *Electronics* 12/01/84, pp. 123-139; 1981, *Electronics* 13/01/83, pp. 125-140; 1980, *Electronics* 13/01/82, pp. 121-136; 1979, *Electronics* 13/01/81, pp. 121-133.

TABELA 3.6 : MERCADO JAPONÊS DE EQUIPAMENTOS E COMPONENTES ELETRÔNICOS - US\$ milhões

	1979	1980	1981	1982	1983 ¹	1984	1985	1986 ¹	1987 ²	81/87
Equip. Comunicação	2.948	1.646	2.534	2.723	2.964	3.868	5.829	6.780	7.098	18,72
Proces. Dados e Escrit.	7.378	8.803	10.078	12.103	14.683	14.756	25.925	29.539	34.246	22,61
Consumo ³	7.064	8.851	12.448	10.536	11.680	10.138	17.291	18.147	19.283	7,57
Equip. Industriais ⁴	1.433	2.336	2.907	3.120	3.524	1.834	2.757	2.790	2.938	0,18
Equip. Teste e Medição ⁵	329	412	532	678	740	535	745	779	845	8,02
CAD/CAE	-	-	-	-	-	-	150	196	280	-
Subtotal	19.152	22.048	28.499	29.160	33.591	31.131	52.697	58.231	64.690	14,64
Equip. Prod. Semicond.	-	-	285	472	655	1.208	1.742	1.698	1.856	36,65
Equip. Autom. Teste	91	91	152	1174	227	303	437	478	522	22,83
Subtotal	91	91	437	646	882	1.511	2.179	2.176	2.378	32,62
Instr. Médicos e Analít.	1.005	1.261	1.359	1.473	1.580	-	-	-	-	-
Total Equipamentos	20.248	23.400	30.295	31.279	36.053	32.642	54.876	60.407	67.068	14,16
Comp. Eletrônicos ⁶	5.818	6.857	7.576	8.468	9.619	11.719	16.935	16.978	17.296	14,75
Comp. Semicondutores	3.380	4.392	3.534	3.975	4.915	7.467	11.870	12.224	13.227	24,60
Discretos	983	1.151	1.179	1.159	1.288	1.789	2.584	2.394	2.444	12,92
Circuitos Integrados	2.022	3.067	2.109	2.519	3.266	5.284	8.074	8.429	9.242	27,92
Optoeletrônicos	325	174	246	297	361	394	1.212	1.401	1.541	35,77
Total Componentes	9.198	11.249	11.110	12.443	14.534	19.186	28.805	29.202	30.523	18,35
Total Indústria	29.446	34.649	41.405	43.722	50.587	51.828	83.681	89.609	97.591	15,36

1 - estimativa

2 - projeção

3 - inclui dispositivos eletrônicos para automóveis

4 - exceto equipamentos para produção de semicondutores

5 - exceto equipamentos automáticos de teste

6 - inclui power supplies (fontes de força)

FONTE: 1985, 1986 e 1987, *Electronics* 22/01/87, pp. 68-73; 1984, *Electronics* 13/01/86, pp. 30-35; 1982 e 1983, *Electronics* 12/01/84, pp. 148-154; 1981, *Electronics* 13/01/83, pp. 150-156; 1980, *Electronics* 13/01/82, pp. 145-152; e 1979, *Electronics* 13/01/81, pp. 143-144.

TABELA 3.7: MERCADO EUROPEU⁽¹⁾ DE EQUIPAMENTOS E COMPONENTES ELETRÔNICOS - US\$ milhões

	1979	1980	1981	1982	1983 ²	1984	1985	1986	1987	81/87
Equip. Comunicação	8.668	8.288	9.371	10.510	11.222	12.335	16.250	17.122	17.860	11,35
Proces. Dados e Escrit.	15.213	15.672	16.093	19.284	22.185	32.786	44.375	46.892	54.114	22,40
Consumo	13.026	12.358	13.852	14.701	14.959	13.780	17.231	17.910	18.379	4,83
Equip. Industriais ³	2.608	2.471	2.349	2.471	2.435	2.742	4.692	5.305	5.989	16,88
Equip. Teste e Medição ⁴	776	756	817	856	937	932	1.206	1.250	1.329	8,45
CAO-CAE	-	-	-	-	-	-	861	1.139	1.450	-
Subtotal	40.291	39.545	42.482	47.822	51.938	62.575	84.615	91.618	99.121	15,17
Equip. Prod. Semicond.	-	118	133	155	174	234	309	357	412	20,74
Equip. Autom. Teste	128	137	147	162	182	225	305	319	355	15,83
Subtotal	128	255	280	317	356	459	614	676	767	18,29
Instr. médicos e Analít.	1.554	1.335	1.372	1.503	1.663	-	-	-	-	-
Total Equipamentos	41.973	41.135	44.134	49.642	53.957	63.034	85.229	92.294	99.888	14,58
Comp. Eletrônicos ⁵	7.917	7.550	6.989	7.413	7.875	7.910	10.601	11.100	11.766	9,07
Comp. Semicondutores	3.088	2.650	2.291	2.616	2.894	4.156	5.538	5.382	6.044	17,55
Discretos	1.177	909	760	804	846	922	1.164	1.176	1.252	8,68
Circuitos Integrados	1.764	1.644	1.440	1.712	1.933	3.054	4.087	3.902	4.462	20,74
Optoeletrônicos	147	97	91	100	115	180	287	304	330	23,95
Total Componentes	11.005	10.200	9.280	10.029	10.769	12.066	16.139	16.482	17.810	11,48
Total	52.978	51.335	53.414	59.671	64.726	75.100	101.368	108.776	117.698	14,07

1 - Alemanha, Reino Unido, França, Itália, Benelux, Escandinávia, Espanha e Suíça. Para os anos de 1985, 1986 e 1987 o levantamento da Electronics inclui apenas Alemanha, Reino Unido, França e Itália. Os dados foram ajustados pelo fator 0,80, que corresponde à participação percentual destes países no mercado da Europa Ocidental. Para o ano de 1984, embora os dados para a Europa Ocidental estivessem disponíveis, são dados projetados, o que nos levou a ajustá-los.

2 - estimativa

3 - exceto equipamentos para produção de semicondutores

4 - exceto equipamentos automáticos de teste

5 - inclui power supplies (fontes de força)

FONTE: 1985, 1986 e 1987, Electronics 22/01/87, pp. 74-88; 1984, Electronics 13/01/86, p. 36-50; 1982 e 1983, Electronics 12/01/84, pp. 142-147; 1981, Electronics 13/01/83, pp. 142-148; 1980, Electronics 13/01/82, pp. 140-144 e 1979, Electronics 13/01/81, pp. 143-144.

TABELA 3.8 : MERCADO MUNDIAL DE EQUIPAMENTOS E COMPONENTES ELETRÔNICOS - US\$ milhões

	1979	1980	1981	1982	1983 ¹	1984	1985	1986 ¹	1987 ²	81/87
Equip. Comunicação	15.774	15.634	18.293	21.388	23.768	34.485	41.716	46.848	49.584	18,08
Proces. Dados e Escrit.	49.229	57.536	70.484	84.734	100.222	99.283	134.603	143.223	162.928	14,99
Consumo	32.243	37.579	48.819	43.063	46.723	44.003	61.772	57.749	60.064	3,51
Equip. Industriais ³	5.828	8.272	8.668	11.001	12.520	11.360	13.404	13.467	14.602	9,08
Equip. Teste e Medição ⁴	3.321	4.121	3.546	4.301	4.854	5.369	5.812	6.002	6.507	10,65
CAD-CAE	-	-	-	-	-	-	1.791	2.333	3.051	-
Subtotal	106.395	123.142	149.810	164.487	188.087	194.500	259.098	269.622	296.736	12,06
Equip. Prod. Semicond.	673 ⁶	793 ⁷	1.323	1.477	1.788	3.980	4.808	4.283	4.703	23,53
Equip. Autom. Testes	682	1.049	1.269	1.512	1.987	2.614	2.612	2.324	2.563	12,43
Subtotal	11.355	1.842	2.592	2.989	3.775	6.594	7.420	6.607	7.266	18,74
Instr. Médicos e Analít.	5.130	5.619	6.757	7.673	8.314	-	-	-	-	-
Total Equipamentos	112.880	130.603	159.159	175.149	200.176	201.094	266.518	276.229	304.002	11,39
Comp. Eletrônicos	23.351	25.100	26.555	27.932	30.600	38.812	46.298	49.048	51.692	11,74
Comp. Semicondutores	11.505	13.675	12.558	15.217	17.902	26.656	27.805	28.827	32.423	17,13
Discretos	3.314	3.314	3.277	3.234	3.505	4.368	5.208	5.334	5.605	9,36
Circuitos Integrados	7.463	9.901	8.691	11.315	13.611	21.332	20.827	21.482	24.606	18,94
Optoeletrônicos	728	460	590	668	786	956	1.770	2.011	2.212	24,64
Total Componentes	34.856	38.775	39.113	43.149	48.502	65.468	74.103	77.875	84.115	13,61
Total Indústria	147.736	169.378	198.272	218.298	248.678	266.562	340.621	354.104	388.117	11,84

1 - estimativa

3 - exceto equipamentos para produção de semicondutores

5 - inclui power supplies (fontes de força)

2 - projeção

4 - exceto equipamentos automáticos de testes

6 - apenas Estados Unidos

7 - exclui Japão

FONTE: Tabelas anteriores.

Os dados da Electronics (veja tabelas 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8) quanto os da ICE-Status (veja tabela 3.9) mostram que a taxa de crescimento do mercado de componentes semicondutores no ano de 1983, além de não ser muito alta, não foi maior comparativamente a outros anos, enquanto que o ano de 1984 apresenta taxa de crescimento significativamente mais alta que em 1983. Por sua vez, a taxa de crescimento da produção (1) de componentes (dados da ICE-Status) é positiva e maior em 1984, tornando-se negativa para todas as regiões - exceto para o "resto do mundo" - no ano seguinte. O que se nota, portanto, é que o aumento das vendas de componentes, o investimento em ampliação da capacidade e a elevação da produção se deram simultaneamente em 1984. Assim, para aceitar a hipótese de investimento induzido, teríamos que supor que o espaço de tempo entre a decisão de investir, o investimento propriamente dito e a realização da produção, nesta indústria, é inferior ou igual a um ano, o que nos parece pouco verossímil e não significativo para explicar o desempenho tão atípico do mercado

(1) Chamamos a atenção para o fato de que os dados de produção estão disponíveis segundo a área de localização da matriz da empresa produtora, além de somarem a produção cativa à produção para o mercado aberto, enquanto que os dados de mercado não incluem os mercados cativos.

de equipamentos para produção de semicondutores (1).

Uma segunda hipótese explicativa seria o surgimento de novas empresas produtoras de componentes semicondutores - que teriam criado demanda adicional de equipamentos - ou ainda pela expansão de antigas (2). Como o surgimento de novas plantas não se reflete direta ou imediatamente sobre os dados de produção de componentes - e isso não apenas porque há um lapso de tempo entre a fundação de uma planta e o início da produção, mas também porque as novas plantas têm um volume de produção inicial bastante pequeno, normalmente

(1) É bom lembrar as dificuldades subjacentes a este tipo de análise: a apresentação dos dados de consumo e produção de componentes, em valor, não leva em conta a rápida e acentuada queda de preços, que segue a curva de aprendizado mencionada no capítulo 2, e que é, aliás, uma das principais características da indústria de semicondutores. Apenas a título de exemplo, podemos citar a queda do preço médio das memórias DRAM 256K, que passou de US\$ 21 em 1984 para US\$ 4 em 1985 (queda de 81%) ou as memórias EPROM 256K, cujo preço caiu de US\$ 17 em janeiro de 1985 para US\$ 4 em agosto do mesmo ano (queda de 76%), conforme relatório ICE-Status 1986, p. 19. Por outro lado, mesmo que houvesse disponibilidade de dados em termos físicos (quantidade de componentes produzidos e consumidos), estes dificilmente incorporariam o fato de que a integração em escalas cada vez maiores faz com que o número de componentes consumidos (incorporados a um equipamento) tende a diminuir na medida em que um componente mais avançado pode substituir mais de um componente da geração anterior - e isto sem reduzir, mas, pelo contrário, elevando a capacidade de armazenamento e/ou processamento de informações.

(2) Os dados disponíveis indicam que de 1983 a 1984, 28 novas plantas para produção de circuitos integrados foram criadas, apenas nos Estados Unidos, incluídas as expansões das empresas já atuantes na indústria (ICE-Status 1985, p. 50). De 1984 a 1986 foram fundadas 18 novas plantas para produção de circuitos integrados em mercado aberto nos Estados Unidos, 7 no Japão, 2 na Europa e 2 no resto do mundo. Destas, 20% estão envolvidas com a produção de circuitos integrados de arseneto de gálio, sendo que o total de novas plantas para produção destes componentes foi de 17, apenas nos EUA (Relatório ICE-Status, 1986, p. 44-45).

TABELA 3.9: PRODUÇÃO⁽¹⁾ E CONSUMO⁽²⁾ DE COMPONENTES SEMICONDUTORES 1980-1986 (US\$ milhões)

	1980		1981		1982		1983		1984		1985 ³		1986 ⁴	
	Prod.	Cons.	Prod.	Cons.	Prod.	Cons.	Prod.	Cons.	Prod.	Cons.	Prod.	Cons.	Prod.	Cons.
Comp. Semicond.														
Estados Unidos	11.135	8.590	10.900	9.320	11.210	6.480	13.620	8.008	19.115	13.050	16.135	9.150	17.190	9.750
Europa	1.620	3.675	1.540	2.975	1.725	3.024	1.975	3.458	2.720	5.050	2.550	4.950	2.625	5.150
Japão	3.570	3.265	4.545	3.335	4.515	4.032	6.210	5.642	10.440	8.300	9.350	8.000	9.860	8.400
Resto do Mundo ⁵	320	1.385	360	1.340	355	864	430	1.092	620	1.800	650	1.450	700	1.550
Total	16.645	16.915	17.445	16.970	17.805	14.400	22.235	18.200	32.895	28.200	28.685	23.550	30.375	24.850
Circuitos Integrados														
Estados Unidos	9.055	7.290	8.950	8.000	9.365	-	11.475	-	16.530	10.750	13.975	7.400	14.950	7.950
Europa	710	2.285	790	1.825	835	-	1.040	-	1.545	3.750	1.375	3.675	1.425	3.850
Japão	2.290	2.065	2.815	2.385	2.990	-	4.420	-	7.800	6.200	6.800	5.800	7.260	6.150
Resto do Mundo ⁵	130	705	160	550	165	-	230	-	370	1.300	400	1.000	440	1.075
Total	12.185	12.345	12.715	12.760	13.355	-	17.165	-	26.245	22.000	22.550	17.875	24.075	19.025

1 - por área de localização da matriz

2 - não inclui consumo cativo

3 - estimativa

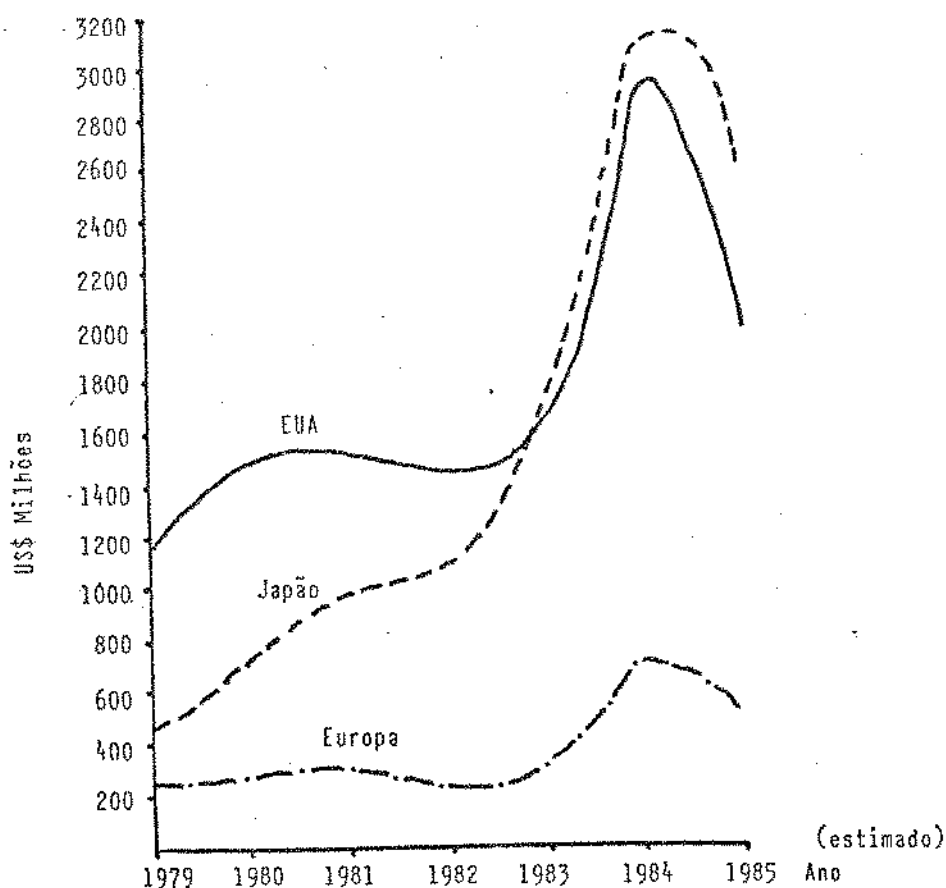
4 - projeção

5 - exclui o bloco soviético mas inclui a República Popular da China

FONTE: Relatórios ICE-Status 1986, p. 3, 4, 7 e 8; 1985, p. 4; 1984, p. 4; 1983, p. 3 e 7; 1982, p. 5 e 6.

de produtos bastante especializados (1) e que não chega a afetar de imediato a capacidade total da indústria -, é possível que boa parte do crescimento do mercado de equipamentos seja explicado desta forma. Ou seja, novas plantas demandam, certamente, equipamentos - ainda que nos períodos de crise do mercado de semicondutores as empresas tendam a utilizar as fundições de silício (2), e suas compras devem se refletir, ao menos parcialmente, sobre os dados de investimento em equipamentos que apresentamos a seguir.

GRÁFICO 3.1 : INVESTIMENTOS EM CAPITAL DAS INDÚSTRIAS DE SEMI-CONDUTORES NOS ESTADOS UNIDOS, EUROPA E JAPÃO (1979-1985)



FONTE: Relatório ICE-Status 1986, p. 38.

(1) Os chamados "nichos de mercado".

(2) Isto se aplica principalmente às novas firmas que ainda não tenham comprado ou instalado seus equipamentos, sendo, portanto, menos relevante do que possa parecer à primeira vista.

TABELA 3.10: INVESTIMENTOS^(*) DAS DEZ MAIORES EMPRESAS NORTE-AMERICANAS E DEZ MAIORES JAPONESAS PARA PRODUÇÃO DE SEMICONDUTORES (US\$ milhões)

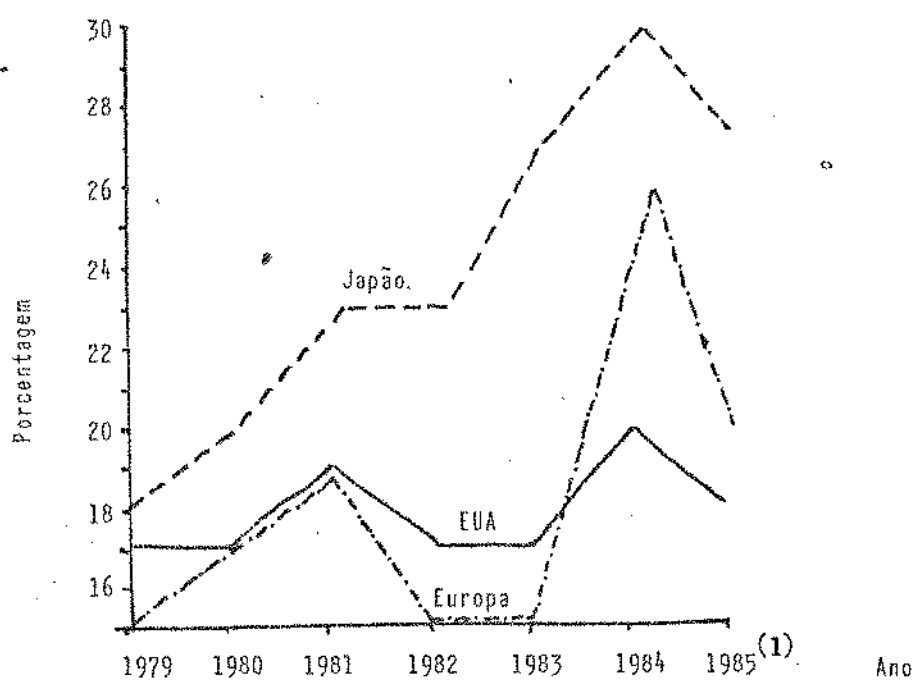
	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985 ¹
Japonesas							
Toshiba	38	52	89	127	345	575	460
NEC	103	131	190	217	268	505	450
Hitachi	59	90	131	170	268	500	375
Matsushita	47	94	90	80	92	470	290
Fujitsu	63	103	158	180	220	390	235
Mitsubishi	32	41	60	90	140	255	200
Sony	22	35	57	65	50	70	140
Sharp	30	40	48	51	77	120	130
Tokyo Sanyo	19	37	50	39	55	85	110
Oki	21	48	61	60	57	115	85
Outras	20	30	40	45	70	105	75
Total	454	701	974	1.124	1.642	3.190	2.550
Americanas							
TI	251	300	155	140	232	472	325
Motorola	159	176	185	160	174	412	300
Intel	80	135	135	115	120	340	250
National	90	120	110	105	150	250	185
AMD	39	49	58	67	114	250	185
Fairchild	58	75	140	150	130	165	150
Harris	22	43	53	35	40	65	65
Analog Devices	12	14	11	16	15	53	65
Signetics	48	93	120	75	55	100	50
Mostek	75	100	94	80	100	140	35
Outras	278	358	459	414	500	627	390
Total	1.112	1.463	1.520	1.357	1.630	2.874	2.000

(1) Estimados

(*) "Semiconductor-related capital expenditures"

FONTE: ICE-Status 1986, pp. 39 e 40.

GRÁFICO 3.2 : INVESTIMENTOS EM CAPITAL, EM PORCENTAGEM DAS VENDAS, DAS INDÚSTRIAS DE SEMICONDUTORES NOS ESTADOS UNIDOS EUROPA E JAPÃO (1979-1985)



(1) estimado.

FONTE: Relatório ICE-Status 1986, p. 40.

A terceira hipótese é que o ano de 1984 marca uma intensa renovação tecnológica da indústria de semicondutores, representada pela substituição de equipamentos menos sofisticados por outros mais sofisticados e mais caros. De fato, a tabela 3.11, que apresenta dados abertos por tipo de equipamento (alinhadores) - embora infelizmente disponíveis apenas para o mercado norte-americano - mostra que de 1983 a 1984 houve uma queda de 40% na participação dos alinhadores por contato no total de alinhadores consumidos, simultaneamente a uma elevação de 106% na participação dos equipamentos "direct wafer stepping".

Note-se* que, como demonstra a tabela 3.12, o segundo tipo de equipamento custa 100 vezes mais do que o primeiro, o que nos leva a concluir que grande parte do referido crescimento do mercado de equipamentos se deve a um processo de substituição de máquinas menos sofisticadas e mais baratas por outras mais sofisticadas e mais caras aumentando, de imediato, o custo do investimento por unidade de produção. Da mesma forma, o capital necessário para a produção de "wafers" com máquinas mais modernas é mais de 800 vezes superior, o que é condizente com as já comentadas altas taxas de investimento por parte das empresas produtoras de semicondutores.

Estes números, embora impressionantes, são facilmente explicáveis: como já ressaltamos no capítulo 2, os aprimoramentos das técnicas litográficas necessários para que se consiga níveis mais elevados de integração dos circuitos exigem equipamentos de processamento propriamente ditos bem como instalações mais sofisticadas, o que significa investimentos

TABELA 3.11: MERCADO NORTE-AMERICANO DE EQUIPAMENTOS PARA PRODUÇÃO DE SEMICONDUTORES - 1979-1987
(US\$ milhões)

	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987 ¹
Montagem	145	141	141	152	181	261	350	350	388
Litografia - Total	285	284	563	474	504	638	657	541	562
Alinhadores (total)	260	254	527	445	468	560	570	461	473
Contato/proximidade	-	4	5	66	60	43	37	32	32
"direct wafer stepping"	65	75	280	108	110	272	247	225	230
feixe de elétrons	45	55	57	66	88	80	90	78	85
raio X	-	-	-	-	-	-	-	6	7
projeção	150	120	185	205	210	165	196	120	119
"In-Line Handling"	25	30	36	29	36	78	87	80	89
Geração de Máscaras	58	54	43	48	55	44	52	52	58
Preparação de Wafers	30	45	35	45	50	55	48	35	39
Processamento	155	150	121	131	168	1.540	1.650	1.250	1.388
Total	673	674	903	850	958	2.538	2.757	2.228	2.435

(1) Estimativa.

FONTE: 1987 e 1986: Electronics 07/01/88, p. 83 e 95; 1985: Electronics 08/01/87, p. 62 e 71; 1984: Electronics 06/01/86, p. 48 e 52; 1983 e 1982: Electronics 12/01/84, p. 133 e 134; 1981: Electronics 13/01/83, p. 135 e 140; 1980: Electronics 13/01/82, p. 136; 1979: Electronics 13/01/81, p. 136.

TABELA 3.12: CUSTO E DESEMPENHO COMPARATIVO DOS VÁRIOS SISTEMAS LITOGRÁFICOS

Sistemas	Espessura das linhas (microns)	"Throughput" produtividade "wafers"/ hora	Custo aproximado do sistema (US\$)	Capital necessário para produção - 1000 "wafers"/ semana (US\$)
Fotoalinhadores				
- impressão por contato	10	60	15 mil	30 mil
- impressão por projeção	2-5	60	240 mil	400 mil
- "direct step-on-wafer"	1-2	6	1.5 milhão	25 milhões
Feixe de Elétrons	0.5-1.0	6	1.5 milhão	25 milhões

Obs.: 1 - Os aprimoramentos dos sistemas fotolitográficos permitiram aos produtores de semicondutores alcançar espessuras de linhas de 0,5 micron com equipamentos "direct step-on-wafer", o que reduziu a velocidade de desenvolvimento de novos sistemas à base de feixe de elétrons (Electronic Business, 01/05/84, p. 106).

2 - Os equipamentos por feixe de elétrons, que são controlados por computador têm a vantagem da flexibilidade de programação e de alcançar menor espessura de linhas (ou maior resolução); são, no entanto, mais lentos, e pouco apropriados para produção em grande volume. Problemas técnicos com este tipo de equipamento (dispersão de elétrons) têm suscitado pesquisas em equipamentos que utilizam feixes de íons ("focused ion beam").

FONTE: U.S. Congress - Office of Technology Assessment - OTA: International Competitiveness in Electronics, novembro de 1983, p. 80, reproduzido também em UNCTC: Transnational Corporations in the International Semiconductor Industry, 1986, p. 95.

pêçados em capital fixo (1). Estes equipamentos permitem a produção de maior número de "chips" num mesmo "wafer", elevando o rendimento (yield) não apenas pelo aumento da quantidade de "chips" produzidos mas também pela redução do seu tamanho, o que reduz a probabilidade de encontrar defeitos no substrato de silício (2).

Esta análise nos leva a concluir que a indústria de componentes semicondutores é crescentemente intensiva em capital, principalmente por que o aumento da complexidade dos circuitos exige, para sua fabricação, o uso de equipamentos mais sofisticados, desde a etapa de projeto (equipamentos do tipo CAD - "computer aided design") até o encapsulamento ("automated wire bonders") e testes. O rápido desenvolvimento de novos equipamentos de produção leva, por sua vez, à aceleração da obsolescência técnica dos mesmos, reduzindo seu ciclo de vida. Também a crescente automação do processo de produção de componentes, que objetiva aprimorar a qualidade e elevar o rendimento ("yield"), implica a elevação do investimento em capital fixo, assim como a já mencionada (no capítulo 2) tendência à utilização de "wafers" maiores, que necessita de equipamentos mais dispendiosos.

(1) O custo de entrada na indústria microeletrônica era de aproximadamente US\$ 50 milhões em 1983, comparativamente aos US\$ 5 milhões a US\$ 10 milhões da década de 70. Veja U.S. Congress - Office of Technology Assessment - OTA.op.cit., p. 80.

(2) Veja figura 3 no Anexo Técnico, p. 37.

3.4. Programas de Pesquisa

Infelizmente não dispomos de dados conclusivos sobre programas de pesquisa na área de microeletrônica, equipamentos e materiais. Ainda assim, pode-se afirmar que os primeiros anos da década de 80 marcam uma significativa aceleração dos investimentos em pesquisas em tecnologia de produção de semicondutores, como se verá a seguir:

3.4.1. Estados Unidos

Nos Estados Unidos, fundou-se a SRC em 1982, e, um ano mais tarde, a MCC^(1). Ambas as associações são consórcios de empresas com o objetivo de coordenar os esforços de pesquisa neste setor, e sua criação foi incentivada pelo relaxamento da lei anti-truste.

A MCC é um consórcio de "joint-research" que tem a finalidade de pesquisar as áreas de CAD/CAM, arquitetura computacional, tecnologia de software e encapsulamento, através de um laboratório de pesquisa de propriedade das empresas que formam o consórcio e onde trabalham pesquisadores destas em-

(1) Respectivamente: Semiconductor Research Cooperative e Microelectronics and Computer Technology Corporation. Veja BW 23/05/83, p. 54-55; BW 18/02/85, p. 70-71; BW 23/06/86, p. 78-82 e OECD: The Semiconductor Industry: trade related issues, 1985.

presas (1) .

A SRC - que nos interessa mais de perto - foi fundada pela SEMI (Semiconductor Equipment Manufacturer's Industry Association), para planejar, promover, coordenar e financiar pesquisas na área de materiais semicondutores, projeto e produção de circuitos integrados, bem como desenvolver e estreitar os laços entre a indústria e a universidade (2) .

A cooperação direta entre a indústria (representada pela SIA - Semiconductor Industry Association) e o governo (local, estadual e federal) é bem mais recente: um relatório elaborado em fevereiro de 1987, pela Agência de Ciência da Defesa (Defense Science Board) do Departamento de Defesa dos EUA sugeriu a criação de uma cooperativa governo-indústria, denominada SEMATECH - Semiconductor Manufacturing Technology, com o objetivo de desenvolver novas tecnologias de produção de circuitos integrados, através de um laboratório comum de pesquisa e desenvolvimento (3) . A SEMATECH, com um orçamento anual de

(1) Cada empresa-membro é obrigada a financiar pesquisas em pelo menos uma das áreas, por 3 anos, no valor mínimo de US\$ 1 milhão por ano. As descobertas e patentes pertencem à MCC, e as empresas têm prioridade para licenciar a tecnologia. De 1983 a 1985, a MCC já havia criado um programa de inteligência artificial (chamado PROTEUS) e projetos preliminares de sistemas automáticos de encapsulamento de "chips". O orçamento anual da MCC é de aproximadamente US\$ 50 milhões.

(2) Fundada em 1982 por 11 empresas, em 1986 a SRC já tinha 36 membros e financiava mais da metade da pesquisa universitária nos Estados Unidos, na área de semicondutores de silício. De 1982 a 1986 as pesquisas já haviam originado 16 novas patentes de aprimoramento da tecnologia de produção de circuitos integrados. A SRC não tem fins lucrativos e oferece 30 prêmios anuais a pesquisadores. Seu orçamento anual é da ordem de US\$ 30 milhões.

(3) Os fundos públicos seriam usados na construção do laboratório e na compra dos equipamentos; às empresas cabem as despesas operacionais. Veja BW 27/04/87, p. 58-59 e BW 31/08/87, p. 48-49.

US\$ 250 milhões, faria todas as experiências até que a tecnologia estivesse testada e aprovada para ser usada em larga escala, cabendo aos seus membros (empresas) a aplicação da tecnologia na produção de "chips" em escala comercial.

A SRC, que é um dos braços da SIA, transformou-se em membro da SEMATECH, de forma que além de continuar a financiar a pesquisa básica nas universidades, passou a supervisionar todas elas, estabelecendo prioridades para o financiamento governamental a pesquisas desenvolvidas tanto nas universidades quanto nos laboratórios independentes.

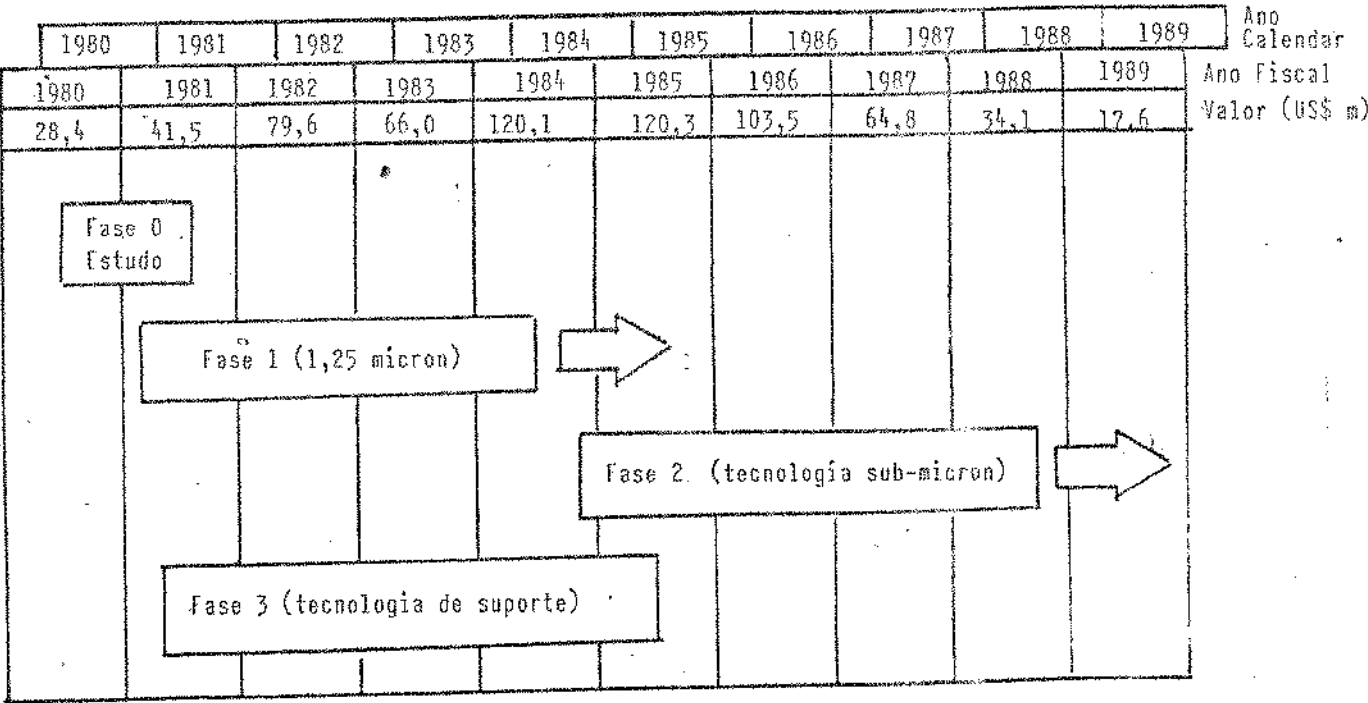
Em termos de pesquisa militar, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos criou, em 1979, o programa VHSIC (Very High-Speed Integrated Circuit Programme) com o objetivo de fornecer subsistemas eletrônicos necessários à área militar, assim como preservar e ampliar a liderança tecnológica americana em eletrônica militar avançada. Para alcançar estes objetivos, o programa enfatiza o desenvolvimento de circuitos integrados para os quais não há demanda comercial ou industrial, especialmente processadores de sinais ultrarápidos e circuitos integrados especiais para uso em ambientes expostos a altas temperaturas e à radiação. Embora o programa vise também a pesquisa e a produção de "chips" sub-micron (fases I e II respectivamente), a opção de desenvolvimento de equipamentos de produção avançados ficou por conta das empresas candidatas a participarem do programa (1). Ainda assim, já em 1981 o programa financiava aproximadamente US\$ 26,5 milhões a um total de 48 contratantes, entre empresas e universidades,

(1) Esta seria a fase III, que é de suporte genérico às fases anteriores. Veja os Relatórios ICE-Status, vários números.

enfazizando a pesquisa em equipamentos de litografia por feixe de elétrons (1).

O quadro 3.1 e a tabela 3.13 mostram o cronograma do programa VHSIC e um resumo das principais áreas de pesquisa e fontes de financiamento em microeletrônica nos Estados Unidos (2).

QUADRO 3.1: PROGRAMA VHSIC



FONTE: Relatório ICE-Status mid-term 1985, p. 127.

(1) Veja o Relatório ICE-Status 1981, p. 35.
(2) Veja U.S. Congress - Office of Technology Assessment; op. cit., principalmente pp. 391-392.

TABELA 3.13: PRINCIPAIS ÁREAS DE PESQUISA E FONTES DE FINANCIAMENTO EM MICROELETRÔNICA NOS ESTADOS UNIDOS -NÚMERO DE PESQUISAS

Fontes de Financiamento	Áreas de Pesquisa	Física; Ciência	Materiais	Circuitos	Dispositivos; Componentes	Inter-conexões	Encapsulamento	Design; Lay-Out	Simulação	Testes	Litografia	Processamento e Fabricação de Circuitos Integrados	Integração à Escala wafer(WSI)
Darpa		2	2	3	2	2	1	4	4	3	2	2	1
MCC		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SRC		8	14	5	6	6	-	6	9	3	4	12	-
MCNC		3	4	5	1	1	1	4	1	1	-	4	-
MISC		1	1	1	1	1	1	-	-	1	1	1	-
Universidades		-	-	1	-	-	-	-	1	-	2	2	-
Indústrias		3	7	7	6	4	5	11	8	6	4	5	2
Outros		6	7	4	5	4	4	9	5	3	3	4	3

NOTAS: DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency
MCC : Microelectronics and Computer Technology Corporation
SRC : Semiconductor Research Cooperative
MCNC : Microelectronics Center of North Carolina
MISC : Microelectronics and Information on Sciences Center

FONTE: Elaboração própria, a partir do Relatório ICE-Status 1985, quadro 5-11, p. 113.

3.4.2. Japão

No Japão, o programa de pesquisa mais importante na área de materiais e equipamentos de produção de semicondutores foi o VLSIC (Very Large Scale Integrated Circuit), financiado conjuntamente pelo MITI e pela NTT (1). Este programa, que vigorou de 1976 a 1979, auxiliou os produtores japoneses de equipamentos a desenvolver produtos mais avançados, através de pesquisas levadas a cabo em um laboratório da VLSI Technology Research Association, criado pelo programa. Dentre os objetivos do programa VLSIC constavam a produção de micro-circuitos, tecnologia de cristal, projetos e testes de circuitos integrados e tecnologia de componentes.

O resultado deste esforço, que custou aproximadamente US\$ 135 milhões (2), foi o desenvolvimento de três tipos de sistemas de exposição por feixe de elétrons, três tipos de sistemas de alinhamento (incluindo os de luz ultravioleta e a raio X), materiais resistentes a feixe de elétrons e um sistema de corrosão a seco, entre 700 tecnologias patenteáveis (3).

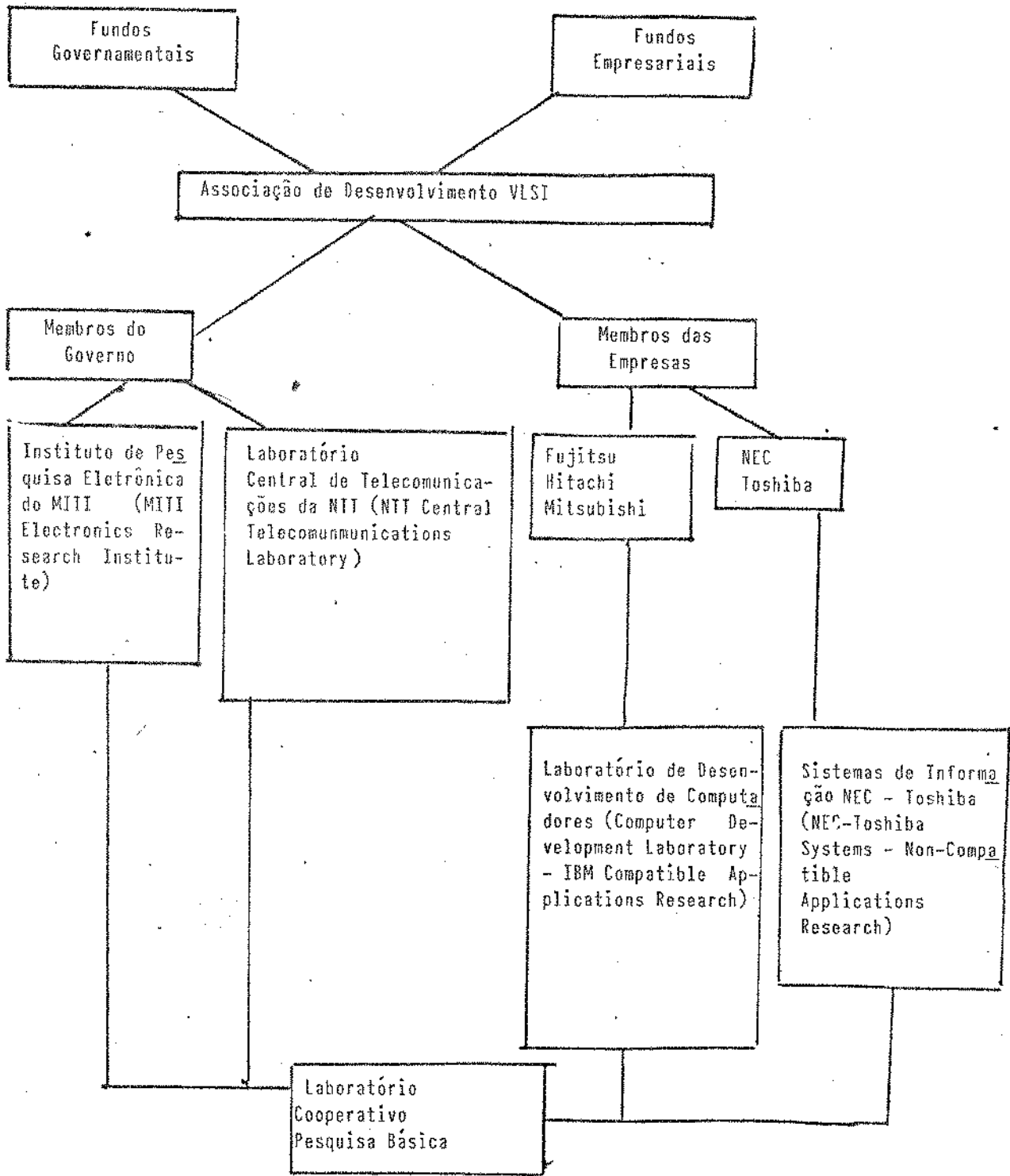
(1) Veja U.S. Congress - Office of Technology Assessment (OTA); op. cit., p. 417-419. Participaram do programa: NEC, HITACHI, FUJITSU, TOSHIBA e MITSUBISHI ELECTRIC (Fortune, 03/09/84, p. 58-65).

(2) Segundo a Fortune, 03/09/84, p. 58-65, este valor foi de US\$ 285 milhões.

(3) Veja ICE-Status 1983, p. 12-13 e UNIDO: Survey of Government Policies in Informatics, abril 1985, p. 17. É interessante notar que até 1978 proibiu-se o licenciamento destas patentes a qualquer empresa estrangeira. Para os outros programas no Japão, como software e computadores de 5ª geração, veja UNIDO, op. cit., p. 17-24.

O quadro 3.2 mostra o organograma do programa VLSI.

QUADRO 3.2: ORGANIZAÇÃO DO PROGRAMA VLSI - JAPÃO



FONTE: Japan Agency of Science and Technology, citado em Semiconductor Industry Association, "The Effect of Government Targeting on World Semiconductor Competition", Califórnia, 1983, reproduzido em UNIDO: Survey of Government Policies in Informatics, abril 1985, 1985, p. 18.

O programa VLSIC japonês permitiu que a participação do Japão no mercado mundial de equipamentos de produção de semicondutores de 21,6% em 1981 a 39,5% em 1985. Também neste período o país tornou-se crescentemente independente de importações, como mostram as tabelas 3.14 e 3.15.

TABELA 3.14: PARTICIPAÇÃO DE EMPRESAS JAPONESAS, NORTE-AMERICANAS E OUTRAS EM ALGUNS SEGMENTOS DO MERCADO DE EQUIPAMENTOS (em %)

Equipamentos	1979			1983		
	EUA	Japão	Outros	EUA	Japão	Outros
Fotoalinhadores	80	13	7	59	34	7
Deposição física	63	11	26	66	16	18
Equip. teste de CIs VLSI lógicos	84	16	0	69	31	0

FONTE: VLSI RESEARCH INC. In: Fortune, 03/09/84, p. 60.

TABELA 3.15: MERCADO JAPONÊS DE EQUIPAMENTOS - PRODUÇÃO DOMÉSTICA E IMPORTAÇÃO (US\$ milhões)

Equipamentos	1979			1981			1983		
	TOT	DOM	IMP	TOT	DOM	IMP	TOT	DOM	IMP
Alinhadores	27	8	19	40	16	24	48	24	24
"Steppers"	6	2	4	22	9	13	28	14	14
"Coater "/revelador	12	5	7	18	9	9	22	13	9
Corrosão a plasma	6	3	3	10	7	3	14	10	4
Reator epitaxial	10	2	8	11	8	3	13	10	3
Implantador iônico	17	2	15	20	8	12	24	12	12
Deposição química	13	8	15	17	14	3	20	16	4
Deposição metálica	20	12	8	22	11	11	22	11	11
Difusão	19	19	0	20	20	0	20	20	0
Total	130	61	69	180	102	78	211	130	81

FONTE: KANEMATSU SEMICONDUCTOR In: Relatório ICE-Status, 1983, p. 13.

3.4.3. Europa

Na Comunidade Econômica Européia há sete programas de pesquisa e desenvolvimento na área de equipamentos para produção de circuitos integrados VLSI: equipamentos de teste de circuitos integrados VLSI (com a participação de 4 organizações) (1); equipamentos de litografia por feixe de elétrons (5 organizações); sistemas de teste por inserção, ou "burr-in" (4 organizações); equipamentos de deposição química a vapor por baixa pressão (4 organizações); sistemas de teste por feixe de elétrons (5 organizações); equipamentos de corrosão a plasma (3 organizações) e equipamentos de encapsulamento de circuitos VLSI (4 organizações).

O programa ESPRIT - European Strategic Programme of Research in Information Technology foi o resultado de uma série de reuniões entre 12 empresas européias líderes no setor de informática, sob a iniciativa da Comissão da Comunidade Eu-

(1) Cada "organização" é composta de no mínimo dois países da comunidade. Veja OECD: op. cit.

rópéia, preocupados com a redução da competitividade da indústria européia no mercado mundial.

O objetivo principal do programa ESPRIT - que deslançou em 1984 - era fornecer a pesquisa necessária para manter e aprimorar a competitividade da indústria européia e traçar as diretrizes para a criação de padrões europeus.

Dentre os programas pensados inicialmente, e que nos interessam mais de perto, constava o "desenvolvimento de equipamentos de produção de semicondutores, devido, em parte, à dependência européia da importação de equipamentos" (1) e o projeto de materiais semicondutores compostos (2).

Em outubro de 1986, as propostas de continuidade do programa, denominado ESPRIT-II, mantinham como prioridade o desenvolvimento de materiais semicondutores compostos (dentro da área de microeletrônica e periféricos).

Na Alemanha Ocidental, o Programa de Componentes Eletrônicos (1974-1978), que enfatizava circuitos integrados e componentes semicondutores foi seguido pelo Programa Microeletrônico (1981), com ênfase no apoio à tecnologia de processo, que englobava as etapas de projeto, produção, teste e controle de circuitos integrados, além da pesquisa em "chips" sub-micron (3).

(1) US. Congress: Office of Technology Assessment (OTA): op. cit., p. 413.

(2) European Science Notes, Nov/Dez 1986, in MM nº 20/21, 1987, p. 22-24.

(3) Vos, Dirck de: Governments and Microelectronics - The European Experience, Science Council of Canada, 1983, p. 77.

O governo francês já se preocupava, desde 1978, com a necessidade de desenvolver pesquisas na área de materiais para microeletrônica bem como em tecnologia de produção de circuitos integrados, além da simulação e avaliação do desempenho de componentes. Entre outras prioridades, estas preocupações transformaram-se no Plan de Circuits Intégrés (1), responsável pelo P & D do plano mais genérico, conhecido como Plan de Composants, e que canalizou cerca de 150 milhões de dólares canadenses para financiamentos para pesquisas em circuitos integrados VLSI, desde o projeto até o desenvolvimento de equipamentos de processamento (2).

No Reino Unido, o programa MISP - Microelectronics Industry Support Scheme, anunciado em julho de 1978, tinha como objetivo específico "a expansão da produção de circuitos integrados padronizados, o desenvolvimento da capacidade de projeto e produção de circuitos integrados para usos específicos e auxiliar empresas fornecedoras de equipamentos ou serviços à indústria microeletrônica" (3).

Em 1982 criaram-se alguns consórcios que combinavam recursos públicos e privados, parcialmente financiados pelo governo, para pesquisar áreas como a tecnologia por feixe de elétrons, tecnologia de projeto, "logic arrays" e novos materiais (4).

(1) Vos Dirck, op. cit., p. 43 e 44.

(2) US Congress - Office of Technology Assessment (OTA), op. cit., p.398.

(3) Vos Dirck, op. cit., p. 26. Desconhece-se o montante financiado através deste programa.

(4) Vos Dirck, op. cit., p. 35.

Para o período 1984-1990, o programa MISP-2 enfatiza a tecnologia do arseneto de gálio, equipamentos de produção e "gate arrays" (1), sendo que mais da metade do seu orçamento de £120 milhões servirá para financiar a capacitação da indústria no fornecimento de equipamentos de produção de semicondutores (2).

3.5. Indústria de Materiais de Grau Eletrônico

A tabela 3.16 apresenta as principais empresas fornecedoras de materiais para produção de componentes (materiais de grau eletrônico) e suas vendas no mercado mundial, em 1985 e 1986. Nota-se que estas são quase do mesmo porte, e que as quatro maiores representam pouco mais de 50% do mercado, o que indica um grau de concentração relativamente baixo e inferior à concentração existente no segmento produtor de silício de grau eletrônico (medido pela capacidade de produção em toneladas métricas - ver tabela 3.17).

(1) Segundo The Guardian, 20/03/84, citado em UNIDO: Survey of Government Policies in Informatics, abril de 1985, p. 36.

(2) Computer Weekly 22/03/84, citado em MM, janeiro/março 1984, p. 37-38.

TABELA 3.16: MERCADO MUNDIAL DE MATERIAIS DE GRAU ELETRÔNICO
US\$ milhões

Empresa	1985	1986
Kyocera	360	425
Shin-Etsu-Handotai	200	210
Wacker	180	190
Monsanto	180	170
Dupont	170	160
NTK	160	200
Dai Nippon Printing	150	150
Henley	130	140
Shinko	100	120
Osaka Titanium	90	-
Hitachi Chemical	-	160

FONTE: Electronic Materials Report. in: Electronic Business, 15/05/86, p. 80 e 01/05/87, p. 84.

TABELA 3.17: PRINCIPAIS FORNECEDORES DE SILÍCIO DE GRAU ELETRÔNICO - 1980 (capacidade de produção em toneladas métricas)

Empresa	Capacidade de Produção
Wacker	900
Hemlock (Dow Corning)	700
Osaka Titanium	400
Texas Instruments	250
Smiel (Dynamit Nobel)	220
Monsanto	210
Shin-Etsu Handotai	160
Motorola	100
Great Western Silicon (GE)	100
Komatsu	30

FONTE: Electronics News, 16/03/81, in Ernst, Dieter, op. cit., p. 195, nota 49.

No segmento produtor de substratos de silício, os maiores produtores de silício policristalino de grau eletrônico (material ainda não apropriado para uso em microeletrônica - veja no Anexo Técnico o processo de produção de silício de grau eletrônico) são também seus maiores consumidores (ver tabela 3.18) ^(1). Em particular, algumas empresas da indústria química, como a WACKER, a HEMLOCK (associada da DOW CORNING), a MONSANTO e a UNION CARBIDE também produzem silicões, sendo, portanto, integradas para trás; a TEXAS INSTRUMENTS, a MOTOROLA e a GENERAL ELECTRIC - da indústria eletrônica, produzem também substratos de silício monocristalino ("wafers"), de uso cativo, sendo integradas para frente.

A indústria de materiais de grau eletrônico - em geral ^(2) - é composta, em sua maior parte, por empresas da indústria química, sendo que dentre as principais empresas do segmento de silício de grau eletrônico há empresas da indústria química e eletrônica. A análise do quadro de empresas produtoras de materiais de grau eletrônico mostra que são poucas as que fornecem grande variedade de materiais, e as que o fazem ou são grandes empresas (em geral líderes) na sua indústria de origem ou pequenas empresas especializadas. Há poucas empresas verticalmente integradas na indústria eletrônica, mas as que o são, são líderes nesta indústria, como é o caso das japonesas HITACHI, MITSUBISHI e TOSHIBA, as norte-americanas IBM, NATIONAL SEMICONDUCTOR e TEXAS INSTRUMENTS e a holandesa PHILIPS.

(1) Chamamos a atenção para o fato de que os dados de produção e consumo apresentados nesta tabela têm origem diferente.

(2) Veja o Quadro de Empresas Produtoras de Materiais de Grau Eletrônico no Apêndice a este capítulo.

TABELA 3.16: CAPACIDADE DE PRODUÇÃO⁽¹⁾ E CONSUMO⁽²⁾ DE SILÍCIO POLICRISTALINO DE GRAU ELETRÔNICO (ton)

Empresa	Capacidade de Produção						Consumo					
	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1983	1984 ³	1985 ³	1986 ³	1987 ³	1988 ³
Wacker	2.000	2.500	2.500	2.500	2.500	4.000	450	570	740	960	1.240	1.630
Hemlock	1.200	1.400	1.500	2.000	2.500	3.000	-	-	-	-	-	-
Osaka Titanium	450	450	800	800	800	800	470	560	670	810	1.040	1.250
Dynanite Nobel	400	600	800	800	800	1.600	200	230	270	320	400	500
Texas Instruments	350	350	450	450	450	600	170	200	250	330	400	500
General Electric	300	400	400	400	600	800	-	-	-	-	-	-
Monsanto	230	230	230	230	230	230	450	560	720	940	1.220	1.530
Union Carbide	100	200	800	1.200	1.200	1.200	-	-	-	-	-	-
Motorola	100	100	100	100	100	100	120	130	170	210	260	300
Shin-Etsu Handotai	100	100	100	100	100	100	470	560	670	810	1.030	1.250
Komatsu	60	60	60	60	-	-	120	150	180	220	270	350
Pennsilco	20	20	20	20	20	20	25	30	40	50	70	90
IGM	-	-	-	-	-	-	90	110	130	200	270	350
Western Electric	-	-	-	-	-	-	90	110	130	170	200	250
Siltec	-	-	-	-	-	-	80	100	130	160	200	250
General Motors	-	-	-	-	-	-	80	90	100	150	190	240
Fairchild	-	-	-	-	-	-	80	90	100	120	150	180
Toshiba	-	-	-	-	-	-	50	150	220	300	340	400
Philips	-	-	-	-	-	-	20	20	30	50	70	100
Crystaron	-	-	-	-	-	-	20	25	30	40	60	80
Cincinnati Milacron	-	-	-	-	-	-	20	30	40	60	80	100
Topsil	-	-	-	-	-	-	15	15	15	15	15	15
Ametek	-	-	-	-	-	-	10	15	20	30	40	50
Iokuyama Soda	-	-	200	300	300	300	-	-	-	-	-	-
República Popular da China	300	300	600	600	600	800	100	125	180	250	350	500
União Soviética e Satélites	500	600	600	800	800	1.200	()	()	()	()	()	()
Outros	-	100	400	1.000	1.500	2.000	94	90	115	125	185	305
Total	6.110	7.410	9.560	11.360	12.560	16.750	3.224	3.960	4.970	6.320	8.100	10.220

1 - Fonte: Costoque, E.R. e Ferber, R.R.: "Polycrystalline Silicon Material Availability and Market Pricing Outlook for 1980 through 1988" in: *Proceedings of the 5th E.C.PVSEC*, Atenas, Outubro 1983, reproduzido em: Andrade, Adnei Melges de: *Considerações sobre o Silício e Quartzo de Alta Pura no Brasil*, preparado para a Comissão de Novos Materiais do Ministério da Ciência e Tecnologia, novembro de 1986, mimeo, p. 32. Os dados foram fornecidos pelas empresas.

2 - Fonte: Pizzini, S.: "Solar Grade Silicon as a Potential Candidate Material for Low-Cost Terrestrial Solar Cells", in: *Solar Energy Materials*, pp. 253-297, 1982, reproduzido em Andrade, Adnei Melges de: *op. cit.*, p. 27.
() exclui os países do leste europeu.

3 - Previsão.

Diferentemente da indústria produtora de equipamentos para produção de semicondutores, não há registros significativos de processos de compra entre empresas na indústria de materiais de grau eletrônico. A entrada nesta indústria se dá basicamente através de esforços próprios em Pesquisa e Desenvolvimento criando nova capacidade produtiva, e algumas vezes através da aquisição de departamentos ou quase-firmas de outras empresas via transferência do controle de capital.

Outra característica desta indústria, que a diferencia da indústria de equipamentos, é a tendência mais acentuada na especialização, ou seja, a inexistência de indícios quanto a estratégias de diversificação ou ampliação do espectro de materiais a serem produzidos. A lógica desta atitude tem relação direta com a variedade da natureza física e estrutural dos materiais de grau eletrônico bem como da natureza da aplicação destes (1), ou seja, com o processo de produção propriamente dito. As empresas tendem a se especializar na produção de materiais que tenham base técnica semelhante à dos produtos que fabricam tradicionalmente, com o que tendem a seguir uma mesma cadeia produtiva, embora de sofisticação técnica extremamente acentuada.

Ressalte-se ainda que a maioria das grandes empresas fornecedoras de materiais de grau eletrônico investem também em outras áreas conhecidas como "novas tecnologias", especialmente a biotecnologia e em menor escala, "novos materiais".

(1) Veja, no Anexo Técnico, a Classificação dos Materiais de Grau Eletrônico.

Esta constatação parece indicar que sua participação no mercado de materiais de grau eletrônico - ao menos para as empresas não integradas com a produção de semicondutores - faz parte de uma lógica mais geral, a de investir - e diversificar os riscos - em vários outros setores de tecnologia de ponta.

3.6. Mercado de Materiais

Há dois tipos principais de empresas consumidoras de silício policristalino de grau eletrônico: empresas que preparam substratos monocristalinos para uso em microeletrônica (incluindo dispositivos discretos) e empresas que preparam substratos policristalinos para células solares (1).

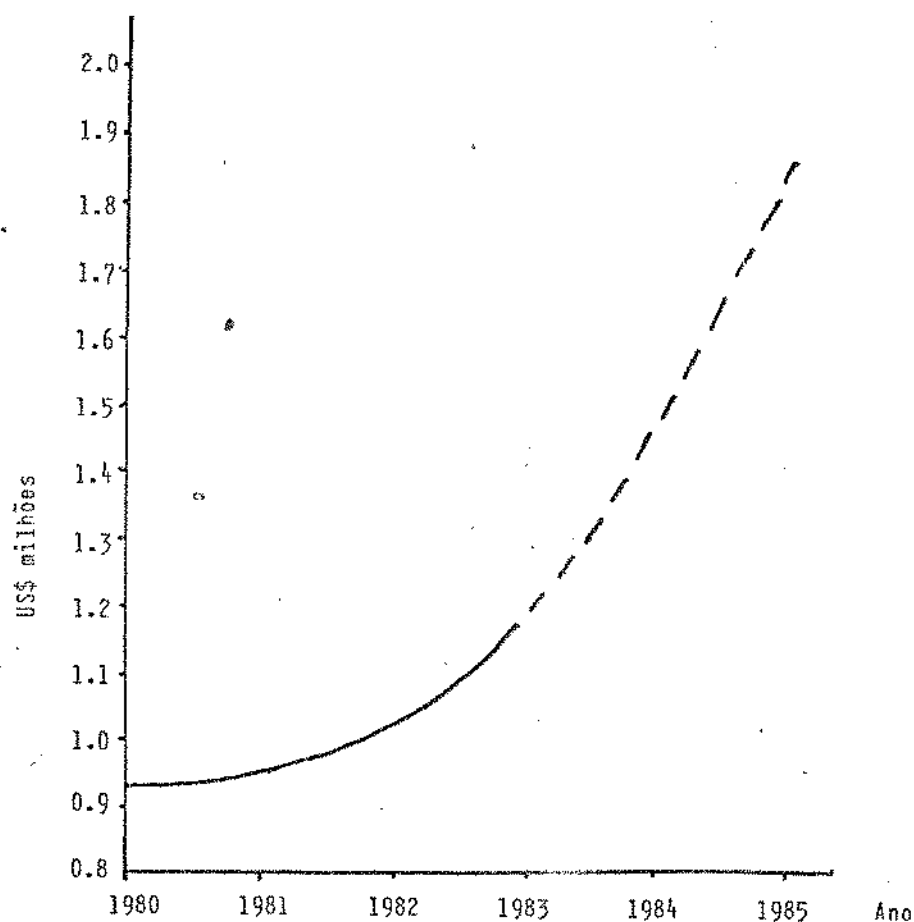
O gráfico 3.3 representa o consumo mundial de "wafers" de silício para microeletrônica entre 1980 e 1983 e as projeções de consumo até 1985. Segundo o relatório da ICE-Status (2), o crescimento do mercado mundial nos anos re-

(1) Embora o silício consumido pela indústria fotovoltaica seja, essencialmente, o mesmo que o consumido pela indústria de microeletrônica, a primeira consome uma parcela da produção do silício de grau eletrônico denominada "off-grade material", que apresenta impurezas inaceitáveis para a utilização em microeletrônica, mas permitidas para a conversão fotovoltaica. Assim, enquanto os preços do silício de grau eletrônico de alta qualidade giram em torno de US\$ 50 a US\$ 80 por quilograma, o "off-grade material" tem preços que variam de US\$ 1 a US\$ 25 por quilograma. Veja Andrade, Adnei Melges de: Considerações sobre o Silício e o Quartzo de Alta Pureza no Brasil, preparado para a Comissão de Novos Materiais do Ministério da Ciência e Tecnologia, novembro 1986, mimeo, p. 34.

(2) Relatório ICE-Status, 1983, p. 29. Infelizmente, não dispomos de dados mais atualizados.

cessivos de 1981 e 1982 foi sustentado pelo mercado japonês, que teve uma taxa de crescimento, neste período, de 30%.

GRÁFICO 3.3 : CONSUMO MUNDIAL DE WAFERS DE SILÍCIO PARA USO EM SEMICONDUTORES



FONTE: Relatório ICE-Status 1983, p. 29.

Em 1985 e 1986 o mercado norte-americano representava aproximadamente 45% do mercado mundial de materiais para produção de semicondutores e 39% do mercado de "wafers" de silício; o Japão representou 40% do mercado mundial de materiais e 48% do mercado de "wafers" de silício; o restante coube ao

TABELA 3.19: CONSUMO MUNDIAL DE MATERIAIS PARA PRODUÇÃO DE SEMICONDUTORES⁽¹⁾ - US\$ milhões

Materiais	Japão						Europa ²				EUA ³	
	1985	1986 ⁴	1987 ⁵	1988 ⁵	1989 ⁵	1990 ⁵	1985	1986 ⁴	1987 ⁵	1988 ⁵	1985	1986 ⁴
Wafers de silício	510	523	1.265	1.600	1.824	2.152	140	142	272	304	410	435
Outros substratos	26	31	115	189	215	254	9	11	16	20	17	20
Fotomáscaras	257	284	885	995	1.134	1.338	133	146	219	245	390	430
Fotoresistes	34	37	174	217	247	291	18	19	27	31	52	57
avançados	-	-	-	6	7	8	-	-	-	-	-	-
negativos	21	22	71	86	98	116	9	9	-	-	26	28
positivos	13	15	103	125	142	167	9	10	-	-	26	29
Líquidos	55	57	258	379	431	508	28	30	43	47	83	87
Gases	53	57	316	519	591	697	27	30	44	53	81	87
Materiais para Deposição	19	21	74	203	231	272	10	11	16	20	29	32
Total	954	1.010	3.087	4.102	4.673	5.512	365	389	637	720	1.062	1.148

NOTAS: 1 - exclui produção cativa da IBM

2 - dados da Europa incluem resto do mundo

3 - dados dos EUA incluem produção cativa

4 - estimativa

5 - projeção

FONTE: ELECTRONICS MATERIALS REPORT, in: Electronic Business, 15/05/86, p. 80 e 90; 15/08/87, p. 40 e 01/01/88, p. 96.

"resto do mundo", incluindo a Europa. De 1985 a 1986, o consumo mundial de materiais cresceu 7%, cabendo as maiores taxas de crescimento aos itens "outros substratos" (19,2%), fotore-sistes positivos (12,5%), fotomáscaras (10,3%) e materiais para deposição (10,3%). A menor taxa coube aos "wafers" de silício (3,8%).

É interessante notar que o Japão é o maior consumidor de substratos para "wafers", representando 48% do mercado mundial de "wafers" de silício e 50% do mercado mundial de "outros substratos".

A tabela 3.20 mostra que as mesmas projeções que indicam uma taxa anual de crescimento do consumo de "wafers" de silício de apenas 17,6% entre 1986 e 1989 - comparativamente à taxa, também projetada, de 66,3% para o consumo de "wafers" de arseneto de gálio - indicam ainda que a participação do silício no total do consumo de "wafers" não deverá cair tão cedo.

TABELA 3.20 : MERCADO MUNDIAL DE SUBSTRATOS PARA "WAFERS"
(US\$ milhões)

Típos de Substratos	Ano 1986	1989 ⁽¹⁾	Taxa Média Anual
wafers de silício	1.200	1.950	17,6%
wafers de arseneto de gálio	5	23	66,3%
Total	1.205	1.973	17,9%

(1) projeção.

FONTE: ROSE ASSOCIATES, In: Chemical Engineering, 25/07/87, p. 14-17.

TABELA 3.21: PRODUÇÃO MUNDIAL DE MATERIAIS PARA PRODUÇÃO DE SEMICONDUTORES (US\$ milhões)

Materiais	1984	1985 ⁽¹⁾	1986 ⁽²⁾	1987 ⁽²⁾
wafers de silício	1.378	1.515	1.757	2.249
outros substratos	46	51	59	76
fotomáscaras	890	980	1.135	1.453
fotoresistes	129	148	168	199
negativos	66	74	81	89
positivos	63	74	87	110
líquidos	236	266	293	337
gases	218	240	278	345
materiais para deposição	80	89	98	126
Total	2.977	3.289	3.788	4.785

NOTAS: (1) estimado
(2) projeção

FONTE: ROSE ASSOCIATES in Electronics Business, 15/05/86, p. 116.

Esta tendência é reiterada pela projeção da produção de materiais, segundo a qual as taxas de crescimento da produção de "wafers" de silício e de "outros materiais" permanecem praticamente iguais (respectivamente 10% e 11% entre 1984 e 1985, iguais em 16% entre 1985 e 1986 e 28% e 29% entre 1986 e 1987).

Estes dados nos levam à conclusão, já sugerida no capítulo 2, de que embora as pesquisas sobre outros materiais para substrato - entre eles, o arseneto de gálio - venham ganhando importância crescente, o silício não deverá perder seu lugar como insumo básico e essencial da indústria microeletrônica.

Quanto ao restante dos materiais de grau eletrônico, a análise é extremamente dificultada pela escassez de informações quantitativas e pela incompatibilidade entre os dados fornecidos por fontes diferentes. As tabelas 3.22, 3.23 e 3.24 são apresentadas como exemplo destas dificuldades.

TABFLA 3.22: MERCADO NORTE-AMERICANO DE PRODUTOS QUÍMICOS PARA SEMICONDUTORES - US\$ milhões

Produtos	1984 ¹	1985 ²	1986 ²	1989 ¹
Silício Policristalino ("wafers")	125	410	435	286
Fotoresistências (total)	85	52	57	179
avançadas	-	-	-	-
positivos	45	26	29	109
negativos	40	26	28	70
Líquidos (total)	128	83	87	245
para processamento	100	-	-	200
para corrosão	28	-	-	45
Gases (total)	152	81	87	368
atmosféricos	95	-	-	217
para corrosão	15	-	-	46
dopantes	10	-	-	23
CVD	22	-	-	55
outros	10	-	-	27
Metais para Filmes Finos (total)	34	29	32	65
alumínio e ligas	9	-	-	19
cromo, níquel, tântalo, titânio e ligas	6	-	-	13
ouro, platina, paládio	19	-	-	33
Compostos do grupo III-V (outros substratos)	37	410	435	210
gálio e índio	32	-	-	205
"gadolinium-gallium garnet"	5	-	-	5
Fotomáscaras	-	390	430	-
Materiais para Encapsulamento (total)	106	-	-	250
cerâmica	50	-	-	124
epoxi	42	-	-	96
silicone	12	-	-	24
poliimida	2	-	-	6
Outros	14	-	-	-
Total	681	1.062	1.148	1.603

FONTES: 1 - SRI International (1989: projeção)

2 - Electronics Materials Report (incluem produção cativa, exceto da IBM; 1986: estimativa)

TABELA 3.23: MERCADO JAPONÊS DE PRODUTOS QUÍMICOS PARA SEMICONDUTORES - US\$ milhões

Produtos	1984 ¹	1985 ²	1986 ²	1987 ²	1988 ²	1989 ²	1989 ¹	1990 ²
Silício Policristalino ("wafers")	98	510	523	1.265	1.600	1.824	243	2.152
Fotoresistês (total)	36	34	37	174	217	247	88	291
avançados	-	-	-	-	6	7	-	8
positivos	22	13	15	103	125	142	59	167
negativos	14	21	22	71	86	98	29	116
Líquidos (total)	85	55	57	258	379	431	188	508
para processamento	68	-	-	-	-	-	155	-
para corrosão	17	-	-	-	-	-	33	-
Gases (total)	94	53	57	316	519	591	190	697
atmosféricos	65	-	-	-	-	-	130	-
para corrosão	8	-	-	-	-	-	18	-
dopantes	3	-	-	-	-	-	5	-
CVD	12	-	-	-	-	-	25	-
outros	6	-	-	-	-	-	12	-
Metais para Filmes Finos (total)	23	19	21	74	203	231	35	272
alumínio e ligas	6	-	-	-	-	-	9	-
cromo, níquel, tântalo, titânio e ligas	4	-	-	-	-	-	7	-
ouro, platina e paládio	13	-	-	-	-	-	19	-
Compostos do Grupo III-V (outros substratos)	56	26	31	115	189	215	152	254
gálio e índio	52	-	-	-	-	-	148	-
"gadolinium-gallium garnet"	4	-	-	-	-	-	4	-
Fotomáscaras	-	257	284	885	995	1.134	-	1.338
Materiais para Encapsulamento (total)	74	-	-	-	-	-	187	-
cerâmica	20	-	-	-	-	-	50	-
epoxi	24	-	-	-	-	-	60	-
silicone	30	-	-	-	-	-	75	-
poliimida	0	-	-	-	-	-	2	-
Outros	15	-	-	-	-	-	-	-
Total	481	954	1.010	3.087	4.102	4.673	1.083	5.512

FONTES: 1 - SRI International (1989: projeção)

2 - Electronics Materials Report (1986: estimativa; 1987 a 1990: projeção)

TABELA 3.24: MERCADO EUROPEU E DO RESTO DO MUNDO DE PRODUTOS QUÍMICOS PARA SEMICONDUTORES - US\$ milhões

Produtos	1984 ¹	1985 ²	1986 ²	1987 ²	1988 ²	1989 ¹
Silício Policristalino ("wafers")	77	140	142	272	304	196
Fotoresistês (total)	39	18	19	27	31	80
avangados	-	-	-	-	-	-
positivos	19	9	10	-	-	47
negativos	20	9	9	-	-	33
Líquidos (total)	76	28	30	43	47	140
para processamento	59	-	-	-	-	110
para corrosão	17	-	-	-	-	30
Gases (total)	93	27	30	44	53	206
atmosféricos	59	-	-	-	-	123
para corrosão	8	-	-	-	-	24
dopantes	5	-	-	-	-	12
CVD	15	-	-	-	-	33
outros	6	-	-	-	-	14
Metais para Filmes Finos (total)	22	10	11	16	20	36
alumínio e ligas	6	-	-	-	-	10
cromo, níquel, tântalo, titânio e ligas	4	-	-	-	-	7
ouro, platina e paládio	12	-	-	-	-	19
Compostos do Grupo III-V (outros substratos)	18	9	11	16	20	93
gálio e índio	16	-	-	-	-	91
"gadolinium-gallium garnet"	2	-	-	-	-	2
Fotomáscaras	-	133	146	219	245	-
Materiais para Encapsulamento (total)	56	-	-	-	-	135
cerâmica	25	-	-	-	-	62
epoxi	26	-	-	-	-	60
silicone	4	-	-	-	-	9
poliimida	1	-	-	-	-	4
Outros	9	-	-	-	-	-
Total	390	365	389	637	720	886

FONTES: 1 - SRI International (1989: projeção)

2 - Electronics Materials Report (1986: estimativa; 1987 e 1988: projeção)

3.7. Comentários Finais

Conclui-se, a partir do que foi exposto neste capítulo, que não se verifica nenhuma das hipóteses aventadas no seu início, a saber: a da existência de processos de verticalização nas indústrias produtoras de insumos para a microeletrônica; e a de que a produção destes em mercado aberto possa se transformar em produção cativa.

Atualmente, a indústria de equipamentos é mais integrada com a indústria de componentes, embora apenas algumas grandes empresas desta indústria sejam verticalizadas e produzam equipamentos em mercado cativo, como as norte-americanas TEXAS INSTRUMENTS, WESTERN ELECTRIC e IBM, a japonesa MATSHUSHITA, a holandesa PHILIPS e a alemã SIEMENS. O restante - a grande maioria - produz equipamentos em mercado aberto e apenas algumas são especializadas na produção destes equipamentos. Existem diferentes graus de diversificação entre as empresas desta indústria - em geral - e também no que se refere à diversificação dos equipamentos para produção de componentes, embora esta seja a principal estratégia de concorrência, concomitantemente ao investimento em P & D. A concorrência é mais intensa no segmento produtor de equipamentos para processamento, "locus" por excelência do desenvolvimento tecnológico da microeletrônica.

A indústria produtora de materiais de grau eletrônico, composta em sua grande parte por empresas da indústria

química, é bem menos integrada com a indústria microeletrônica. A rigor, apenas algumas produtoras de silício de grau eletrônico são também produtoras de componentes. Destas, as norte-americanas TEXAS INSTRUMENTS, MOTOROLA e GENERAL ELECTRIC produzem "wafers" de uso cativo, e as também norte-americanas IBM, NATIONAL SEMICONDUCTOR, as japonesas HITACHI, MITSUBISHI e TOSHIBA bem como a holandesa PHILIPS estão entre as principais empresas produtoras de materiais de grau eletrônico não apenas integradas com a indústria eletrônica como com liderança nesta atividade. A produção de gases e outros produtos químicos de grau eletrônico é feita fundamentalmente por empresas da indústria química. A estratégia de concorrência pauta-se principalmente na especialização (apenas as japonesas HITACHI, TOSHIBA, MITSUBISHI, SHIN-ETSU-HANDOTAI, as norte-americanas MONSANTO e OLIN, a inglesa ICI e a alemã WACKER atuam em mais de dois segmentos). Esta especialização, que se dá em termos de segmento, mas não em termos de produto, não representa produção cativa, mesmo porque são poucas as empresas verticalizadas. Dentro de cada segmento a produção é diversificada, o que corresponde, por um lado, a seguir determinadas linhas de produção (gases, produtos líquidos, etc...), tirando benefício da experiência acumulada. Por outro lado, a diversificação corresponde à estratégia mais geral das empresas da indústria química que vêm investindo na produção de produtos mais sofisticados, de maior valor agregado, conhecidos como especialidades químicas ou química fina. Neste caso, a diversificação reduz os riscos ligados ao pequeno tamanho do mercado - que é específico - e à sempre presente possibilidade do surgimento de novos produtos de melhor qualidade, além de ser facilitada pelo

fato da produção não ser contínua e sim em bateladas.

Em ambas as indústrias, a característica fundamental do processo de concorrência é a ênfase na qualidade. O alto custo de P & D nestas indústrias exige, quase sempre, o suporte de programas especiais dos governos nacionais (principalmente para a indústria de equipamentos) e, em alguns casos, "joint-research" entre empresas que podem até ter diferentes origens de capital, especialmente em pesquisa de ponta e, com maior frequência, na indústria de materiais de grau eletrônico.

Não se constatou qualquer tendência quanto a processos de verticalização ou de possíveis estratégias de produção cativa em nenhuma das duas indústrias.

As empresas produtoras de equipamentos que constroem salas de processamento de "wafers" ("clean rooms") fazem-no tão somente com a finalidade de testar seus produtos. Estas salas funcionam como laboratórios de pesquisa e é pouco provável que signifiquem uma primeira etapa de uma possível estratégia que vise a produção propriamente dita de componentes, o que exigiria investimentos não apenas de grande monta mas também de grandes riscos, principalmente devido à grande instabilidade do mercado de componentes. Esta característica do mercado de componentes - responsável por um comportamento acentuadamente cíclico - exige a existência de uma clientela estabelecida que permita garantir a continuidade da produção e portanto acumular experiência sem profundas interrupções na linha de produção. Estas - a clientela e a experiência - são, aliás, dois dos principais fatores de competitividade desta in

indústria que, além disso, é muito concentrada. Isto significa que embora sempre exista a possibilidade de se obter participação nesta indústria através de "nichos" de mercado, este tipo de produção é ineficiente no sentido de garantir clientela que possibilite o acúmulo de experiência, especialmente para empresas que não tenham desenvolvido anteriormente tal tipo de atividade. A este respeito, cabe lembrar que a maioria das empresas que iniciam sua atuação na indústria de semicondutores através de "nichos" de mercado são formadas por "spinn-offs" (uma espécie de dissidência) das grandes empresas de componentes e acabam, em grande parte, sendo novamente incorporadas a elas. Finalmente, o mercado de equipamentos - composto pelas empresas produtoras de semicondutores - é extremamente estável, já que a atualização tecnológica em bens de capital é condição indispensável de sobrevivência na indústria de componentes. Esta estabilidade é suficiente, mesmo em períodos de crise da indústria de semicondutores, para poder dispensar a integração a jusante como estratégia de garantia da realização da produção.

Do ponto de vista dos produtores de componentes, não há necessidade de incorporar a produção de equipamentos como estratégia de garantia de fornecimento. As principais estratégias de concorrência que vigoram na indústria de equipamentos - a diversificação e constante aprimoramento tecnológico - representam para aqueles produtores, por um lado, a garantia do acesso à tecnologia; por outro lado, investir num segmento em que a tecnologia está em constante desenvolvimento significa tomar para si - desnecessariamente - a possibilidade de fracasso das inovações.

Os mesmos motivos que tornam pouco provável a incorporação da produção de componentes pelas empresas produtoras de equipamentos são válidos para a avaliação das possibilidades da integração da indústria de semicondutores à indústria produtora de materiais de grau eletrônico. Em particular, a produção destes materiais segue cadeias produtivas específicas (a especialização em termos de segmentos parece atestá-lo) ligadas à produção química, de características tecnológicas muito diferentes da produção de componentes. Neste sentido, a inexperiência em atividades tão diferentes eleva ainda mais os riscos a que nos referimos anteriormente. Além disso, como foi mencionado, a produção de materiais de grau eletrônico compõe uma estratégia mais geral destas empresas, de investir na produção de produtos químicos de maior valor agregado e que se dirigem a diferentes mercados, dos quais a indústria de semicondutores é o mais distante em termos de cadeia produtiva. Em outras palavras, ainda que a estratégia de concorrência deste tipo de empresas da indústria química fosse a de se integrar a jusante, a integração à indústria de semicondutores estaria, muito provavelmente, entre as últimas alternativas.

Por sua vez, a grande quantidade de fornecedores, sua relativa especialização em termos de segmentos (gases, produtos líquidos, etc...) e uma oferta abundante torna desnecessário incorporar a produção destes materiais como estratégia de garantia de fornecimento, por parte das empresas produtoras de componentes. Também aqui as diferenças tecnológicas entre ambas as atividades teriam um peso bastante grande - e negativo - no que se refere à viabilidade de implementar tal estratégia.

Estes comentários nos levam a concluir que é perfeitamente possível, do ponto de vista da estrutura dessas indústrias ou das estratégias das empresas que as compõem, a instalação de plantas produtoras de componentes semicondutores não integradas com a produção de equipamentos e materiais de grau eletrônico. No entanto, como vimos no capítulo 2, o desenvolvimento tecnológico nestas indústrias determina o desenvolvimento da tecnologia microeletrônica e, portanto, a competitividade desta indústria depende, em grande parte, do acesso às inovações realizadas nos segmentos de equipamentos e de materiais de grau eletrônico.

O próximo capítulo deverá tratar destas questões para o caso brasileiro.

CAPÍTULO 4
INSUMOS PARA A MICROELETRÔNICA NO BRASIL

4.1. Introdução

Creemos ter demonstrado no decorrer desta dissertação que o domínio da tecnologia de produção de insumos e dos equipamentos de produção de componentes microeletrônicos é fundamental para quem queira estar à frente no domínio da tecnologia dos circuitos integrados.

Este capítulo tem por objetivo verificar até que ponto a política de microeletrônica no Brasil tem levado estas questões em consideração, e quais as conseqüências disto. Nossa hipótese é que é preciso não apenas ser capaz de produzir "chips" com tecnologias não ultrapassadas (inclusive e, especialmente, dominar a etapa de difusão), mas também acompanhar, a pequena distância, seu desenvolvimento. Isto implica acompanhar, inclusive, a evolução do segmento de insumos, ou seja, dos materiais de grau eletrônico e dos equipamentos de produção.

Nosso argumento central é que, se por um lado, o surgimento e crescimento em importância dos circuitos integrados de aplicação específica ("application-specific integrated circuits" - ASICs) gerou um nicho de mercado aproveitável pela indústria nacional, por outro a produção de circuitos integrados padronizados é condição sine qua non para viabilizar e assegurar a condução de políticas industriais e tecnológicas - para o complexo microeletrônico - com autonomia decisória. Em outras palavras, se a estratégia de "nichos" baseada, no caso, nos ASICs, permite alguma inserção do Brasil no mercado mundial de componentes microeletrônicos, não é sufi-

ciente (embora necessária) para a chamada "autonomia nacional". Esta exige, de fato, o pleno domínio - incluindo a capacidade de produção - do estágio atual de desenvolvimento da "trajetória-silício" e o acompanhamento, a nível da pesquisa básica e aplicada, de seus possíveis desdobramentos.

Este capítulo está dividido em quatro partes: na primeira descrevemos sucintamente a situação atual da indústria brasileira de semicondutores e seu estágio de desenvolvimento. Em seguida discutimos alguns dos aspectos mais relevantes da estratégia brasileira para a microeletrônica, destacando os problemas decorrentes da ênfase dada aos ASICs e que explicam, ao menos parcialmente, o relativo descaso com relação à questão dos insumos no Brasil. Na terceira apresentamos a cronologia da Política Nacional de Microeletrônica, dando destaque à questão dos materiais a ela relacionada. A quarta traz um levantamento da situação do quartzo e do silício no Brasil, já que são estes os únicos insumos que foram mencionados, no decorrer destes últimos anos, em simples trabalhos de avaliação, ou em proposições explícitas de política para o segmento.

4.2. A Indústria Brasileira de Semicondutores - Estágio Atual

A indústria brasileira de componentes semicondutores nasceu em meados dos anos sessenta, visando atender principalmente a demanda de componentes eletrônicos para a indústria de entretenimento. Estruturou-se entre 1973 e 1976, com a instalação, no Brasil, de subsidiárias de empresas estrangeiras

(além da empresa nacional TRANSIT, que encerrou suas atividades em 1980), atraídas pelo potencial do mercado interno decorrente do desenvolvimento da indústria brasileira de equipamentos eletrônicos (principalmente em telecomunicações e equipamentos de escritório), e pela política de incentivos fiscais formulada pelo governo brasileiro, que objetivava estimular as exportações, promover a substituição de importações e estimular o desenvolvimento regional (1).

Um outro conjunto de fatores responsáveis pelo movimento de instalação de subsidiárias de empresas estrangeiras relaciona-se ao desenvolvimento e padrões de concorrência desta indústria a nível internacional, em que as empresas passaram a se instalar em países do terceiro mundo para a execução das últimas etapas do processo de produção de componentes semicondutores (2).

Em 1981, quando foi instituída a política para a microeletrônica (3), já havia 17 empresas estrangeiras atuando no Brasil, das quais três norte-americanas, sete européias e quatro japonesas, além de duas brasileiras (POLITRONIC e M.C. MICROCIRCUITOS). Estas empresas atendiam os mercados de telecomunicações e bens de consumo de entretenimento, com produtos de tecnologia já madura, cumprindo as etapas de montagem e teste, de baixo conteúdo tecnológico.

(1) Silva, Ana Lucia G. da: A Indústria de Componentes Eletrônicos Semicondutores: Padrão de Concorrência Internacional e Inserção no Brasil, Dissertação de Mestrado, Instituto de Economia da UNICAMP, Campinas, 1984, mimeo.

(2) Veja Silva, Ana Lucia G., op. cit., p. 154-160 para uma periodização do movimento de instalação de subsidiárias segundo a origem do capital e motivos.

(3) Para a estratégia brasileira para a microeletrônica, veja o item a seguir.

O quadro 4.1 apresenta a evolução da indústria produtora de componentes semicondutores no Brasil, desde 1964 até 1988. Verifica-se que a indústria é composta, atualmente, por treze subsidiárias de empresas multinacionais, das quais duas norte-americanas (incluindo a FAIRCHILD, embora adquirida pela francesa SCHLUMBERGER em 1979), quatro japonesas e sete européias, além de onze empresas de capital nacional. Também no segmento de circuitos integrados - incluindo os híbridos - predomina a presença de empresas nacionais.

Segundo recente avaliação (1), a política para a microeletrônica não afetou o segmento de componentes discretos, pois o processo de substituição de importações se deu paralelamente à política específica para este segmento. A explicação apoia-se no fato de que os componentes discretos, por estarem baseados em tecnologia madura, com utilização assegurada para funções específicas, têm barreiras à entrada relativamente baixas, tanto do ponto de vista tecnológico (produtos de tecnologia menos sofisticada e estabilizada), quanto do ponto de vista econômico (menor necessidade de investimentos), sendo portanto menos afetados por economias de escala e de escopo.

Ainda segundo esta avaliação, o segmento de circuitos integrados, ao contrário do de componentes discretos, foi bastante afetado pela política de microeletrônica.

(1) Veja Mendes, Maria Isabel e Borelli, Maria Hanai: "The Semiconductor Policy and ICs Design in Brazil", in BRASIL-MCT/CNPq: Electronics Industry in Brazil - Current Status, Perspectives and Policy Options, Report for the OECD Development Centre's Project on Technological Change, Global Competition and the World-wide Restructuring of the Electronics Industry, coordinated by Clélia Piragibe, november 1988, mimeo.

QUADRO 4.1: EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA PRODUTORA DE COMPONENTES SEMICONDUTORES NO BRASIL - 1964-1988

QUADRO 4.1: EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA PRODUTORA DE COMPONENTES SEMICONDUCTORES NO BRASIL - 1964-1988										Técnicas de Produção	Marcadas de Destino		
Empresas	Início da Produção de Semicondutores	Origem e Controle	Produtos e Técnicas de Produção										
			Dispositivos Discretos			Dispositivos Optoeletrônicos		Circuitos Integrados			Tecnologias		
			Diódos	Transistores	Triodos	LEDs	Fibras Ópticas	Laser	Linear	Signal		Híbrido	
PHILCO Indústria Brasileira de Semicondutores ¹	1964	FORD - EUA	NT	PMI					PMI	MT		1964	Dom/Ext
ITERAPE Eletrônica Ltda	1965	PHILIPS - Holanda	MT	MT	PMI ²				MT	MT			Dom/Ext
SEMICON Sudoamericana Com. Ind. Semicondutores Ltda	1967	STANJON - Alemanha	5	MT	MT	MT			MT	MT			Dom/Ext
ICORON Instrumentos Eletrônicos do Brasil Ltda	1973	ILIAS - EUA	MT	MT	MT	MT			MT	MT			Dom/Ext
ICORON S.A. Indústria de Componentes Eletrônicos	1973	SIEMENS - Alemanha	MT	MT		MT							Dom
FAIRCHILD Semicondutores Ltda ³	1974	FAIRCHILD - EUA		MT					MT	MT			1983
THOMSON-CEI Componentes do Brasil Ltda	1974	THOMSON - França							MT				1980
THOMSON-CEI Componentes do Brasil Ltda	1974	SUPRENUMS - EUA							MT				1980
TRANSIL Semicondutores S.A.	1974	M. Diniz e outros - Brasil	PMI	PMI					MT ¹¹				Ext
RCA Eletrônica Ltda ¹⁰	1975	RCA - EUA											1979
PHILIPS Eletrônica do Nordeste S.A.	1976	PHILIPS - Holanda											Dom
NATIONAL Semicondutores do Brasil Ltda	1976	NATIONAL - EUA		MT					MT				Dom
Indústria Eletrônica SARTO do Brasil Ltda	1978	SARTO - Japão		MT									Dom/Ext
NIC do Brasil S.A.	1979	NIC - Japão	MT			MT							Dom
WESTINGHOUSE do Brasil S.A. ¹²	1979	WESTINGHOUSE - EUA				MT							Dom/Ext
POLYTRONIC Produtos Eletrônicos Ltda	1979	Brasil	MT			MT			MT				Dom
IGOM Indústria Eletrônica S.A.	1980	IGOM - Japão				MT			MT ¹³				Dom
M.C. MICROELECTRONICS	1980	Brasil	MT										Dom
Indústrias MIYACHI S.A.	1981	MIYACHI - Japão		MT ¹⁵									Dom
Indústria Eletrônica SILVERSON S.A.	1981	THOMSON - França	MT ¹⁵								PMI		Dom
Robert BOSCH do Brasil S.A.	1981	BOSCH - Alemanha											Dom
MULTITEC	1982	Brasil	PMI			PMI					PMI ¹⁷		Dom
AGUS Tecnologia em Dispositivos Semicondutores ¹⁶	1983	Brasil							MT	PMI			Dom
RELTEC S.A. Sistemas de Energia Renovável	1983	Brasil							PMI	MT			Dom
ITAÚ Componentes ¹⁸	1984	GRUPO ITAÚ - Brasil	PMI	PMI	PMI								Dom
SIS MICROELECTRONICS	1984	GRUPO MATRIAS MACHINE - Brasil											Dom
ELETRA MICROELECTRONICA ¹⁹	1985	GRUPO BOCAS DE SANTOS - Brasil									PMI		Dom
ANC Itai	1987	Brasil									PMI		Dom
ARCEL COM	1988	Brasil	MT			MT							Dom
INTEPAR													

Notações: Pa: Produtos de Difusão; Ma: Montagem; In: Testes; Dom: Doméstico; Ext: Externo.

- Nota: 1. Em 1979 tornou-se joint-venture com a RCA, que se denominou PHILBRAS. Em 1984 foi comprada pelo GRUPO SHARP (MATRIAS MACHINE), por US\$ 40 milhões.
2. Em 1984, segundo Silva, A.L.G. (1986), p. 81, não fazia a difusão de triodos.
3. Em 1984, segundo Silva, A.L.G. (1986), p. 81, a ICORON montava e testava diódos.
4. Segundo Silva, A.L.G. (1986), p. 95, a produção de semicondutores teve início em 1973, mas as operações foram paralisadas até 1976, devido a um incêndio ocorrido em agosto de 1974.
5. Em 1984, segundo Silva, A.L.G. (1986), p. 81, a ICORON não fazia a difusão de diódos, transistores e triodos. O mesmo consta em Rosenthal (1987), p. 295.
6. A empresa norte-americana FAIRCHILD foi adquirida pela francesa SCHLUMBERGER em 1979.
7. Em 1974, segundo Silva, A.L.G. (1986), p. 81, a FAIRCHILD não montava nem testava LEDs. O mesmo consta em Rosenthal (1987), p. 295.
8. Sua linha de encapsulamento foi vendida em 1983 para o antigo Centro Tecnológico para a Informática - CTEI, atual Fundação Centro Tecnológico para a Informática da Universidade de São Paulo.
9. A TRANSIL foi a primeira empresa nacional produtora de semicondutores. Com tecnologia desenvolvida pelo Laboratório de Microeletrônica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LME/EPUSP), a empresa produziu diódos e transistores em escala semi-industrial. Com tecnologia transferida da SEC-AIES (COMPONENTES ELETRÔNICOS, de Itápolis), chegou a dominar o processo de difusão em escala industrial.
10. Ver nota 1.
11. A PHILIPS monta e testa circuitos integrados lineares apenas para exportação.
12. Vendeu sua fábrica para a INEPAR em 1988.
13. Recebeu incentivos para a produção de componentes optoeletrônicos em 1987.
14. Em Silva, A.L.G. (1986), p. 81, os triodos constam como produtos da MIYACHI, sem especificação do estágio de produção.
15. Produção casiva.
16. Em 1986 foi qualificada pela SII como empresa nacional produtora de circuitos integrados, tornando-se a quarta empresa nacional de microeletrônica.
17. Recebeu incentivos para a produção de fusões e células fotovoltaicas em 1987.
18. Representa a empresa norte-americana MONOLITHIC MEMORIES INC. no Brasil. Além da ELETRA MICROELECTRONICA (veja a nota 19), compra a PHILCO Componentes em 1980.
19. No início de 1988 foi transformada em Cia Ltda., e logo depois a ITAUCOM assumiu o controle acionário de área de circuitos integrados, permanecendo a ELETRA ELETRÔNICA como sócia minoritária.
20. Recebeu incentivos para a produção de fibras ópticas e componentes optoeletrônicos em 1985.
21. Revende circuitos integrados da INTEL, que são montados e testados em seus laboratórios.
22. Recebeu incentivos para a produção de fibras ópticas em 1987.

SOURCES: - Izal, João Paulo Carlos: *Microeletrônica: Estratégias de Verticalização das Empresas Brasileiras*. Monografia de Conclusão de Curso de Graduação, Instituto de Economia/Universidade Estadual de Campinas, dezembro 1988, mimeo.

- Mendes, Maria Izabel e Torelli, Maria Nazari: "The Semiconductor Policy and Its Design in Brazil", in: *Brazil-MC/CMR: Electronic Industry in Brazil - Current Status, Perspectives and Policy Options*. Report for the OECD Development Centre's Project on Technology Change and the Worldwide Restructuring of the Electronics Industry, coordinated by Cláudia Piragibe, November 1988, mimeo.

- Rosenthal, D. I. *Microelectronics and Industrial Policies in Developing Countries: The Case of the Semiconductor in Brazil*. Thesis submitted for the degree of Ph.D. in the University of London, University College London, July 1987, mimeo.

- Silva, Ana Lucia G. de: *A Indústria Brasileira de Componentes Eletrônicos Semicondutores - Estado Atual e Perspectivas*. Relatório de Pesquisa do Convênio MIC-SII/UNICAMP-EPUSP (VPRJ-121). Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, 1986, mimeo.

A tabela 4.1. apresenta dados de produção e mercado de componentes semicondutores no Brasil, seguindo metodologia adotado pelo Grupo Executivo Interministerial de Componentes e Materiais - GEICOM (1).

Em 1980 o mercado de componentes semicondutores no Brasil era avaliado em US\$ 175,6 milhões, dos quais 63.3% de componentes discretos e 36,7% de circuitos integrados. Em 1984 o mercado cresceu para US\$ 192,2 milhões (65,2% de componentes discretos e 43,8% de circuitos integrados) passando, em 1987, para US\$ 400 milhões (30% componentes discretos e 70% circuitos integrados).

A produção para o mercado interno respondia, em 1980, por 95,4% da produção de semicondutores, passando a 74,3% em 1984 e para 35,1% em 1987. Incluída a produção para exportação, os dispositivos discretos eram responsáveis por 62,9% da produção total de semicondutores em 1980, passando a 76,8% em 1984 e para 33.5% em 1987.

Estes dados mostram que a participação dos circuitos integrados vem subindo em relação à dos componentes discretos, tanto no que se refere ao mercado brasileiro quanto com relação à produção para o mercado local e total de componentes, seguindo a tendência mundial.

Quanto ao comércio externo, a tendência é menos clara: os circuitos integrados respondiam por 58,5% das impor-

(1) Veja Silva, A.L.G.: A Indústria Brasileira de Componentes Eletrônicos Semicondutores - Estágio Atual e Perspectivas. Relatório de Pesquisa do Convênio MIC-STI/UNI CAMP-IE/FUBJ (UFRJ-IEI). Campinas, Instituto de Economia, 1986, mimeo.

TABELA 4.1: MERCADO E PRODUÇÃO DE COMPONENTES SEMICONDUTORES NO BRASIL: US\$ milhões

Ano	Dispositivos Discretos					Circuitos Integrados					Total Semicondutores				
	Mercado Local	Imp.	Produção p/Mercado Local	Exp.	Produção Total	Mercado Local	Imp.	Produção p/Mercado Local	Exp.	Produção Total	Mercado Local	Imp.	Produção p/Mercado Local	Exp.	Produção Total
1980	111,3	43,3	68,0	6,4	74,4	64,3	61,0	3,3	40,6	43,9	175,6	104,3	71,3	47,0	118,3
1981	93,2	34,9	58,3	5,7	64,0	60,2	65,8		30,7		153,4	100,7	52,7	40,4	93,1
1982	105,6	35,4	70,2	3,3	73,5	71,3	56,6	14,7	24,5	39,2	176,9	92,0	84,9	27,8	112,7
1983	104,6	39,9	64,7	3,6	68,3	75,0	67,5	7,5	24,1	31,6	179,6	107,4	72,2	27,7	99,9
1984	108,1	19,4	88,7	5,1	93,8	84,1	74,8	9,3	19,0	28,3	192,2	94,2	98,0	24,1	122,1
1985	88,0	25,6	62,4	3,4	65,8	132,0	110,4	21,6	16,4	38,0	220,0	136,0	84,0	19,8	103,8
1986	150,0	61,2	88,8	2,9	91,7	180,9	172,9	8,0	19,4	27,4	330,9	234,1	96,8	22,3	119,1
1987	120,0	40,8	79,2	3,7	82,9	280,0	133,5	146,5	19,2	165,7	400,0	174,3	225,7	22,9	248,6
1988 ¹		15,6		1,7			57,6		11,9			73,2		13,6	
1990 ²	288,6					479,3					767,9				
1990 ³	168,0					532,0					700,0				

Notas: 1 - até maio 1988.
2 - estimativa ITAUCOM
3 - estimativa SID

FONTES: - Importação e Exportação: Cacex; Mercado 1980 a 1986: GEICOM; Mercado 1987: SID, in: Mendes, Maria Isabel e Borelli, Maria Hanai: "The Semiconductor Policy and ICs Design in Brazil", in BRASIL-MCT/CNPq: Electronics Industry in Brazil - Current Status, Perspectives and Policy Options. Report for the OECD Development Centre's Project on Technological Change, Global Competition and the Worldwide Restructuring of the Electronics Industry, coordinated by Clélia Piragibe, novembro 1988, mimeo, tabelas 5, 6 e 7.

tações e 86,4% das exportações em 1980. Em 1984 estas taxas passaram respectivamente para 79,4% e 78,8% e, em 1987, para 76,6% e 83,8%.

A influência da política para a microeletrônica sobre o segmento de circuitos integrados pode ser ressaltada com os seguintes dados: as importações de circuitos integrados supriam 94,9% do mercado interno destes componentes em 1980, 88,9% em 1984 e apenas 47,7% em 1987; para os componentes discretos, estes números são respectivamente 38,9%, 17,9% e 34%. No mesmo sentido, de 1984 a 1987 a produção de circuitos integrados para o mercado local cresceu 485,5% (a de componentes discretos chegou a cair em 11%), enquanto que o mercado destes componentes cresceu 239,9% (contra um crescimento de 11% para os componentes discretos) e as importações cresceram 78% (110,3% para os componentes discretos).

Chama-se a atenção, ainda, para o fato de que a produção local de circuitos integrados representava, em 1984, 4,8% do mercado total de semicondutores, passando a 36,6% em 1987.

O que é grave, no entanto, é que a produção local permanece restrita aos mesmos estágios de produção vigentes anteriormente à adoção da política para a microeletrônica, ou seja, comercialização, montagem e testes de circuitos integrados, exceto no caso da SID MICROELETRÔNICA, o que, no entanto, não representa resultado da política, já que a empresa comprou as instalações da PHILCO - que efetuava a difusão de circuitos

integrados lineares - antes da concessão dos incentivos (1).

Atualmente, a etapa de difusão do processo de produção de componentes discretos é feita no Brasil por apenas quatro empresas (duas estrangeiras - SEMIKRON e ICOTRON, de capital alemão - e duas nacionais - AEGIS e SID MICROELETRÔNICA). O processo de difusão de circuitos integrados é dominado apenas por esta última, no segmento de circuitos integrados lineares (2).

No que se refere aos circuitos integrados digitais o quadro 4.2. mostra as etapas do processo produtivo realizadas pelos grupos selecionados para atuar neste segmento.

(1) A Secretaria Especial de Informática - SEI - iniciou o processo de seleção dos grupos interessados em atuar na área, especialmente em circuitos integrados digitais, em 1981, tendo selecionado os grupos ITAÚ e DOCAS de SANTOS. O ITAÚ iniciou a produção em 1984; ano em que também foi selecionado o grupo MATHIAS MACHLINE, que havia comprado a fábrica da PHILCO/RCA. A Lei de Informática foi aprovada em 1984 e, em 1985, quando os decretos que regulamentavam os artigos 13 a 15 (relativos a incentivos fiscais) e 21 (relativo a deduções de imposto de renda) foram assinados, quatro empresas apresentaram projetos para produção de semicondutores: SID MICROELETRÔNICA, ITAUCOM, AEGIS e ELEBRA (esta apresentou também projetos na área de fibras óticas e componentes optoeletrônicos). Os incentivos, porém, foram concedidos apenas em 26/08/86. Em 1987 aprovou-se incentivos para outro grupo de empresas: ABC Xtal (fibras óticas), M.C. MICROCIRCUITOS (componentes optoeletrônicos) e HELIODINÂMICA (insumos e células fotovoltaicas).

(2) Se levarmos em conta os circuitos integrados híbridos, conforme o quadro 4.1., o número de empresas se eleva para quatro, com a inclusão da ABC Xtal, da ELEBRA e da MULTITEL.

QUADRO 4.2: CIRCUITOS INTEGRADOS DIGITAIS: ETAPAS DO PROCESSO PRODUTIVO REALIZADAS PELOS GRUPOS SELECIONADOS

Empresas	Dedicados/Semidedicados	Padronizados
Elebra Microeletrônica	Projeto e Teste	
Itaucom	Projeto, Teste e Montagem	Teste e Montagem
Sid Microeletrônica	Projeto, Teste e Montagem	Teste e Montagem

FONTE: Ledl, João Paulo Garcia: Microeletrônica: Estratégia de Verticalização das Empresas Nacionais, Monografia de Conclusão de Curso de Graduação, Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas, dezembro de 1988, mimeo.

Não cabe aqui investigar os fatores que fizeram com que o mecanismo de reserva de mercado se mostrasse insuficiente para que as empresas nacionais alcançassem o estágio de difusão de circuitos integrados digitais - o que aliás, vem sendo objeto de debate para a formulação do II PLANIN.

No entanto, é preciso chamar a atenção para as pressões que o domínio deste estágio de produção pelas empresas nacionais poderá eventualmente exercer sobre os gastos com importação de insumos.

A tabela 4.2. mostra a evolução da importação de partes e peças para a produção de componentes semicondutores, de 1982 a 1987. Nota-se que a participação dos "wafers" processados chega a quase 50% do total importado, e a de "chips" a pouco menos de um terço. No entanto, o mercado nacional de "wafers" (medido pelo valor das importações), se comparado aos dados de consumo mundial de "wafers" de silício e outros substratos, evidencia o pequeno tamanho do mercado brasileiro, que

TABELA 4.2: IMPORTAÇÃO DE PARTES E PEÇAS PARA PRODUÇÃO DE COMPONENTES SEMICONDUTORES - US\$ milhões

Descrição	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Lâminas de materiais semicondutores processadas ("wafers")	3,4	4,2	7,0	8,8	9,3	13,8
Pastilhas ("chips")	8,6	11,4	4,2	5,5	8,2	8,6
Tiras de terminais ou terminais	3,4	4,3	3,0	3,4	3,7	3,6
Capas Metálicas	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Bases Metálicas	0,9	0,5	0,2	0,3	0,4	0,3
Cápsulas cerâmicas para microestruturas eletrônicas	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
Outros	7,0	3,8	0,9	1,2	1,6	1,7
Total (1)	23,8	24,4	15,5	19,5	23,5	28,2
Produção mundial de "wafers" de silício e outros substratos (2)			1.424	1.566	1.816	2.325
Consumo mundial de "wafers" de silício e outros substratos (3)			411	1.505	1.577	2.164

FONTES: 1 - CACEX + Importação

2 - Tabela 3.21

3 - Tabelas 3.22 - 3.23 e 3.24

representa, em média, menos de 1% do mercado mundial. Além disso, as importações deste material cresceram a taxas elevadas (97,1% de 1984 a 1987), embora bastante inferiores ao do consumo mundial (426,5% no mesmo período).

Assim, o grande peso relativo destes no total de insumos importados, somados à possibilidade de um crescimento ainda mais acelerado a partir do domínio da etapa de difusão de circuitos integrados e inclusive de outros materiais de grau eletrônico - por parte das empresas nacionais indicam que a preocupação com o fornecimento local destes insumos é importante, ainda que não devidamente tratada pelos formuladores de política para a área, como veremos a seguir.

4.3. A Estratégia Brasileira para a Microeletrônica

Embora os resultados da Política Nacional para a Informática sejam impressionantes do ponto de vista da criação de uma indústria nacional, esta continua dependendo fortemente da importação de tecnologia, corporificada em microprocessadores e outros circuitos integrados. A Política Nacional de Microeletrônica evitou fazer uso da reserva de mercado como utilizada pela Política Nacional de Informática, já que qualquer escassez de componentes poderia comprometer imediatamente o desempenho da indústria eletrônica como um todo e,

do ponto de vista da proteção à indústria nacional, tenderia a afetá-la muito mais do que as multinacionais que adquirem componentes de suas próprias subsidiárias (ou da matriz) no estrangeiro. A Política Nacional de Microeletrônica pretendeu, desde o início, comprometer os possíveis produtores nacionais num programa previamente definido de desenvolvimento tecnológico, por etapas de nacionalização da produção.

A estratégia escolhida para o Brasil, incentivada pela SEI e seguida pelas empresas nacionais de microeletrônica, é a estratégia de nichos - basicamente os circuitos integrados de aplicação específica (1). A ênfase dada a estes apóia-se no reconhecimento da incapacidade da indústria nacional de competir no mercado internacional com os baixos custos dos circuitos integrados de prateleira, decorrente da pro-

(1) Circuitos integrados de aplicação específica - ASICs - são projetados, como o próprio nome sugere, para aplicações específicas fornecidas pelos usuários, e tendem a ser mais eficientes do que os de prateleira (ou padronizados). Eram, até há bem pouco tempo, mais caros, já que requeriam projetos sob encomenda e eram produzidos em lotes relativamente pequenos. As recentes inovações em tecnologia de projeto e o crescente uso de equipamentos de processamento (difusão) de "chips" de automação flexível vêm reduzindo drasticamente o custo de produção dos ASICs. Sua utilização de forma crescente vem refletindo mudanças no padrão de concorrência das empresas produtoras de semicondutores, que anteriormente davam preferência à utilização de circuitos de prateleira como forma de difundir sua tecnologia e ampliar mercados. O uso de ASICs denota o acirramento da concorrência, já que neles estão incorporadas características específicas de funcionamento e desempenho dos equipamentos finais em que são utilizados.

dução em larga escala e da elevação do rendimento nas diversas etapas do processo de produção (1). Além disto, prestam-se como alavancas do desenvolvimento de projetos, elemento de importância decisiva em termos da definição do desempenho dos equipamentos finais (2).

Os ASICs requerem investimentos menores, treinam projetistas e geram um bom relacionamento entre a indústria e o mercado. A definição de uma estratégia de incentivo à produção deste tipo de componente baseia-se não apenas no fato de que podem ser produzidos economicamente em pequenos lotes (por apresentarem economias de escala menores), mas também porque não são produzidos pelas empresas multinacionais instaladas no Brasil.

Esta estratégia apresenta, no entanto, problemas sérios, entre os quais o pequeno tamanho do mercado brasileiro, insuficiente para reduzir os custos de produção dos

(1) É bom lembrar que o alto custo dos equipamentos de produção tende a se elevar à medida em que o processo de produção tende, crescentemente, a se automatizar, exigindo, portanto, produção em larga escala, só possível com o atendimento de um mercado a escala mundial. Da mesma forma, a elevação do rendimento tem influência direta da curva de aprendizado que relaciona, de forma inversa, custos a volume acumulado de produção.

(2) Denomina-se "firmware" a tendência de se incorporar, cada vez mais, os programas de aplicação específica no próprio circuito integrado, em particular os microprocessadores, como se fosse uma fusão entre o "software" e o "hardware", transformando-os, desta forma, em circuitos integrados de aplicação específica.

ASICs (1). Como bem aponta Rosenthal (2), a preferência pelos ASICs poderá ter como consequência a redução do mercado potencial para estes componentes, do ponto de vista de cada firma produtora. Neste sentido, é pouco provável que qualquer empresa nacional de microeletrônica possa contar com um mercado além daquele que é composto pelas quase-firmas de seu próprio grupo, e isso exatamente pelo fato de que este tipo de componente incorpora detalhes do projeto do equipamento final, o que lhes empresta caráter de segredo industrial. Como as empresas nacionais (potencialmente) produtoras de componentes pertencem a grupos industriais que competem entre si no mercado de equipamentos finais, não se deve esperar que forneçam seus projetos umas às outras. Se a produção conjunta parece pouco provável, uma estratégia de especialização não deverá gerar os resultados esperados, já que a redução do mercado pode comprometer a viabilidade econômica da produção.

Outro problema sério agrava o anterior mas pode ser destacado de forma independente: trata-se da tendência, a nível mundial, de redução de custos por economias de escala para a produção de ASICs, através do uso de equipamentos auto

(1) Estamos considerando aqui as características peculiares do mercado brasileiro, com forte presença do Estado no setor de telecomunicações - cuja política para este setor contradiz, em muitos aspectos, a política nacional para a informática e a política para a microeletrônica -, existência de privilégios às indústrias do complexo eletrônico instaladas na Zona Franca de Manaus e predominância das empresas multinacionais na produção de computadores de grande porte.

(2) Rosenthal, David: Microelectronics and Industrial Policies in Developing Countries: the case of the semiconductor industry in Brazil, thesis submitted for the degree of Ph.D. in the University of London, University College London, July 1987, mimeo, p. 302-303.

matizados flexíveis, decorrente do próprio crescimento do uso destes componentes. Junte-se a este o alto custo do equipamento para produção de máscaras, que é um dos aspectos mais importantes do processo de produção deste tipo de componentes (1).

Assim, o crescente uso dos ASICs poderá impactar de forma negativa a indústria eletrônica nacional, causando constrangimentos à política para a microeletrônica, se o Brasil não for capaz de alcançar, em curto espaço de tempo, um maior nível de integração no que Rosenthal denominou "estágios interdependentes de produção intensivos em tecnologia" (2), ou seja: projeto do produto final, projeto de circuito integrado e processo de produção de circuitos integrados.

Verifica-se, portanto, que o atraso brasileiro não se refere apenas ao "lag" tecnológico - ou seja, ao fato de não estar fazendo pesquisa de ponta na área -, mas principalmente ao atraso na produção propriamente dita: só recentemente é que se pode considerar que o país tem capacitação na área de projetos de circuitos integrados - a primeira das etapas definidas pela estratégia de capacitação nacional na tecnologia microeletrônica; a produção de máscaras e a própria difusão ainda são feitas no exterior, através de contratos com empresas do tipo "silicon foundry" (fundições de silício).

(1) Segundo Rosenthal, este equipamento custava por volta de US\$ 20 milhões em 1986. Veja Rosenthal, D.: op. cit. nota 41 à p. 341.

(2) Rosenthal, D.: op. cit., p. 240.

Aqui vale a pena recuperar um artigo publicado em 1985 (1), que critica a "visão mercadológica" da reserva de mercado, ao deixar em segundo plano a pesquisa tecnológica e a formação de recursos humanos, e que reivindica o reequipamento e a reestruturação das universidades. Segundo o autor, a "área de projetos de circuitos integrados pode criar a falsa idéia de domínio tecnológico, devido à existência de poderosas ferramentas PAC (2) ... [ou seja] ... a maior parte do conhecimento na área de projetos de circuitos integrados se situa na própria ferramenta PAC de projeto e não no projeto em si". Para o autor, é "nas fundições de silício que se incorpora o conhecimento acumulado de produção de circuitos integrados e, desta forma, a otimização do rendimento (yield) e a conseqüente redução de custos". Esta etapa, além de exigir "pesquisadores e engenheiros com grande experiência e conhecimento em ciência dos materiais", sofre a introdução de novas tecnologias tais como litografia por feixe de elétrons e por raio X, crescimento epitaxial por feixe molecular e a utilização de novos materiais como substratos básicos, que exigem "investimentos de longa maturação e recursos humanos que normalmente ultrapassam a capacidade de investimento financeiro das empresas nacionais".

Também Rosenthal chama a atenção para esta questão: "Embora o projeto de circuitos integrados de aplicação específica envolva um alto grau de conhecimento técnico, po-

(1) Zuffo, João Antonio: "O que falta para uma política adequada de microeletrônica para o Brasil?" in: Dados e Idéias, novembro 1985, p. 61-63.

(2) PAC: projeto assistido por computador (em inglês, CAD: computer-aided-design).

de ser encarado como atividade externa à indústria de semicondutores propriamente dita. Esta atividade requer o uso intensivo de ferramentas PAC sofisticadas e outros tipos de 'software' complexos, que simulam as características funcionais e físicas dos componentes. Já que as características físicas dependem, em grande medida, do processo pelo qual o componente será fabricado, os parâmetros técnicos deste processo devem ser introduzidos no programa de simulação. No entanto, uma vez que o programa esteja disponível, o projeto do circuito pode ser considerado como uma atividade independente da produção. Assim, se do ponto de vista do desenvolvimento da capacitação tecnológica, o projeto de circuitos integrados de aplicação específica deve ser encarado como um estágio indispensável para que a indústria de informática e de outros equipamentos eletrônicos seja capaz de projetar seus produtos, do ponto de vista industrial, a capacitação em projeto não implica nem está necessariamente ligada à capacitação em produção de componentes" (1).

(1) Rosenthal, op. cit., p. 301.

Por outro lado, há quem ressalte que "... a deficiência de fundições de silício no país não apenas afeta a capacitação técnica necessária para se ganhar o mercado de circuitos integrados, mas também afeta a capacitação tecnológica necessária para o desenvolvimento de projetos de circuitos integrados. Isto resulta do fato de que o desenvolvimento de projetos de circuitos integrados está intimamente relacionado à utilização de ferramentas de projeto crescentemente aperfeiçoadas, cujas regras estão, por sua vez, intimamente relacionadas às do processo de difusão destes componentes ... a dependência das empresas nacionais de circuitos integrados das fundições de silício estrangeiras poderia representar um obstáculo para o desenvolvimento de ferramentas de projeto nacionais utilizáveis em projetos de ASICs mais criativos e competitivos" (1).

A chamada "visão mercadológica", que tende a se sobrepor à visão estratégica de domínio da tecnologia, no que se refere aos insumos, é exemplificada neste pequeno trecho de entrevista (grifo nosso): "mesmo sendo de importância tecnológica, essas importações [de insumos] têm uma participação ínfima nos custos finais de fabricação de componentes" (2).

(1) Mendes, M.I. e Borelli, M.H. op. cit., p. 183-184.

(2) Entrevista de P. Aratagy, diretor-superintendente da SID MICROELETRÔNICA, concedida ao Jornal da Microeletrônica, março 1985, p. 8.

Não há referências que indiquem que a não disponibilidade de materiais de grau eletrônico e/ou equipamentos seja um dos "problemas" a serem enfrentados pela indústria nacional de microeletrônica. Isto se explica pelo relativo atraso tecnológico da indústria brasileira, para a qual os equipamentos disponíveis no mercado mundial são suficientes para suas necessidades - tanto em termos de volume de oferta quanto em termos de especificações técnicas (qualidade); o mesmo parece valer para os materiais de grau eletrônico usados no processamento dos "chips" (1).

Na verdade, as únicas referências encontradas quanto aos materiais de grau eletrônico e aos equipamentos de produção de semicondutores como sendo importantes na definição e execução de uma estratégia que vise a autonomia nacional na indústria microeletrônica são oriundos dos segmentos ligados à pesquisa científica e tecnológica. Nestes, considera-se que a disponibilidade tecnológica dos insumos e equipamentos de fabricação é imperativa tanto do ponto de vista estratégico (de redução ou eliminação de dependência tecnológica) quanto pela "importância econômica dos insumos no produto final e o fator multiplicador decorrente da existência de um parque su-

(1) Quanto ao silício, há uma particularidade: o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de silício de grau metalúrgico e ligas de ferro-silício (com 18 empresas e alguns novos projetos em implantação, cuja produção destina-se em grande parte ao mercado externo - 77% em 1985); com relação ao quartzo cultivado, a única empresa que o produz (com capacidade equivalente a 1% da capacidade mundial) é a ABC Xtal, com tecnologia da MOTO-ROLA; não há produção nacional de silício de grau eletrônico, a não ser a produção da empresa HELIODINÂMICA, que produz monocristais a partir de silício policristalino de grau eletrônico - que é importado - para a produção de células solares. Veja Lemos, Cristina: "Quartzo e Silício", Inf. INT, v. 19, nº 38, janeiro/abril 1987, p. 10-12.

pridor de insumos" (1).

Vemos que há um contraste acentuado entre as opiniões sobre a produção nacional de insumos para a microeletrônica. Por um lado, a "visão mercadológica", defendida por representantes da indústria nacional, embora reconheça a importância estratégica deste segmento e a dependência das importações, considera-o pouco atrativo do ponto de vista econômico. Por outro, a "visão estratégica", explicitada por uma parcela da comunidade científica, considera não apenas a importância estratégica como também a capacidade que tal atividade teria de gerar e multiplicar oportunidades de investimento.

A próxima seção deste capítulo destaca as propostas relativas a esta problemática e sua inclusão (ou não) nos programas oficiais. Veremos que há um distanciamento relativamente grande entre uma e outras, o que parece denotar, de fato, a predominância da "visão mercadológica".

4.4. A Política Nacional de Microeletrônica e a Política de Materiais

Até 1990, de acordo com compromissos assumidos com o CONIN (Conselho Nacional de Informática e Automação), a indústria nacional de microeletrônica deverá dominar o ciclo completo de produção de circuitos integrados digitais, do projeto ao encapsulamento e testes finais, passando pela difícil

(1) LME/EPUSP: A microeletrônica no Brasil, 1979, mimeo, p. 17.

etapa da difusão.

A estratégia visualizada pela SEI (Secretaria Especial de Informática) para a implantação da indústria microeletrônica no Brasil previa uma etapa inicial na qual as empresas nacionais começariam a atuar neste setor pelo estágio em que as multinacionais existentes no país se encontravam (ou seja, o encapsulamento), mantendo a importação de partes e componentes. Apenas nas etapas seguintes é que as empresas brasileiras ingressariam na parte de projeto e difusão dos componentes microeletrônicos. Em abril de 1981 havia cinco empresas interessadas em participar do programa: SHARP, COMPANHIA DOCAS DE SANTOS, grupo MONTEIRO ARANHA, ITAÚ e BRASILINVEST. A SEI deveria escolher três projetos (1).

Neste programa, caberia ao Instituto de Tecnologia de Microeletrônica de Campinas avançar as pesquisas em projeto e difusão, além do domínio da tecnologia de transformação do silício bruto em silício de grau eletrônico.

Em 1982, a SEI escolheu dois grupos empresariais, credenciando-os a apresentar projetos detalhados para a fabricação de circuitos integrados digitais: a ITAUSA (Investimentos Itaú S.A.) e a Companhia Docas de Santos (da qual faz parte o grupo ELEBRA, que criou uma nova empresa para fabri-

(1) O decreto 85.790 de 06/03/81 conferiu à SEI responsabilidades específicas no gerenciamento da política de microeletrônica, cabendo à Secretaria: articular as atividades de pesquisa e desenvolvimento e coordenar os diferentes órgãos federais envolvidos, incluindo FINEP, CNPq, Universidades Federais e Centros de Pesquisa Estaduais; fomentar as empresas nacionais interessadas em desenvolver tecnologia de dispositivos semicondutores; e regulamentar as atividades da indústria existente. Para realizar estas tarefas, a SEI apoiou-se no Grupo de Assessoramento de Microeletrônica (GAM), criado pelo mesmo decreto.

car componentes, a ELEBRA MICROELETRÔNICA). A opção por estas duas empresas deveu-se principalmente ao fato de serem, entre as empresas nacionais interessadas em microeletrônica, as que melhor se enquadravam nos critérios estabelecidos pelo governo, como o de que cada projeto estivesse sob o controle de um único grupo, o de estarem ligadas à microeletrônica na qualidade de grandes consumidores (a ITAUSA criou a ITAUTEC - Itau Tecnologia S.A., que investe em computadores e a DOCAS de SANTOS é acionista majoritária da ELEBRA INFORMÁTICA - fabricante de periféricos -, da ELEBRA ELETRÔNICA - fabricante de equipamentos de comunicação - e da SISTEMAS - produtora de programas, ou "software") e sua capacidade financeira.

A estratégia de capacitação nacional foi dividida em três etapas: projeto ; teste , montagem e encapsulamento; elaboração de máscaras e produção. A etapa preparatória, ou seja, de purificação e fundição de silício para transformá-lo em semicondutor - ainda não dominada pela tecnologia nacional - não fazia parte do programa (1).

Em fevereiro de 1984 entrou no mercado de componentes microeletrônicos o grupo MACHLINE, através da compra da empresa PHIBRASE, uma joint-venture entre a RCA e a PHILCO. Em março de 1984 foi criada a SID MICROELETRÔNICA.

Em meados de 1987 havia nove projetos em microeletrônica sendo desenvolvidos por empresas nacionais, com concessão de incentivos fiscais aprovados pelo CONIN, abrangendo as áreas de desenvolvimento de projeto e fabricação de cir-

(1) As questões relativas à produção de materiais de grau eletrônico no Brasil serão tratadas mais adiante.

cuitos integrados digitais (ELEBRA MICROELETRÔNICA, SID MICROELETRÔNICA e ITAUCOM); semicondutores de potência (AEGIS SEMICONDUCTORES); fibras óticas e laser (ELEBRA); circuitos integrados híbridos (MULTITEL e ABC Xtal) e células solares (HELIODINÂMICA).

Os projetos de circuitos integrados digitais foram apresentados à SEI em 1982, mas apenas em 1986 o CONIN aprovou as resoluções, especificando prazos, compromissos e isenções fiscais, estabelecendo, entre outras exigências (1), o

- (1) Exigências: a empresa deve manter as características de empresa nacional de acordo com o que estabelece a Lei de Informática; a empresa deve investir em programas de criação, desenvolvimento ou adaptação tecnológica em microeletrônica, quantia igual ou superior a 10% de sua receita bruta, advinda da comercialização dos bens e serviços de informática, conforme estabelecida na Lei de Informática; todas as empresas contempladas devem respeitar como limite máximo do valor dos incentivos a serem recebidos, o teto de 30% do custo global do programa ou projeto específico, configurado em demonstrações contábeis, prestar informações e permitir o acesso das autoridades competentes aos seus estabelecimentos para fiscalização do projeto e satisfação dos requisitos estabelecidos para o gozo dos incentivos fiscais;
- Benefícios concedidos: redução nas alíquotas de importação de 75% para insumos processados (pastilhas e lâminas semicondutoras processadas), 50% para produtos semi-acabados e 25% para produtos acabados; redução nas alíquotas de imposto sobre produtos industrializados produzidos no país, de 80% para insumos e produtos intermediários e o mesmo percentual sobre a venda de bens produzidos pela empresa de acordo com o projeto; redução de alíquota do imposto sobre operações de crédito, câmbio e seguros e sobre as operações relativas a títulos e valores mobiliários, incidentes sobre as operações de câmbio relacionadas ao pagamento de insumos processados de origem externa (75%), produtos semi-acabados de origem externa (50%) e produtos acabados de origem externa (25%); isenção total de impostos de qualquer tipo nos casos de importação ou compra no mercado externo de máquinas, equipamentos, instrumentos, aparelhos, com seus acessórios, e de insumos não processados (as matérias-primas) - silício puro, fios capilares - e produtos intermediários necessários ao desenvolvimento e industrialização dos componentes semicondutores, exceto pastilhas e lâminas semicondutoras processadas; dedução como despesa operacional em projetos de pesquisa e desenvolvimento aprovados pela SEI - contratados com instituições de ensino ou entidade de pesquisa pública ou privada (200%), outros (170%) - formação de re cursos humanos (200%) (FSP, 01/07/87).

respeito a um cronograma de atuação e obediência a normas rígidas quanto à manutenção de suas características como empresas nacionais, e que seria acompanhado através de relatórios, visitas às fábricas e controle de importações via CACEX.

A política brasileira de apoio às empresas de capital nacional no setor de microeletrônica pode ser dividida em duas fases (1). Na primeira, a atuação do governo foi "incipiente, desarticulada e restrita a áreas específicas, basicamente ao apoio à pesquisa e desenvolvimento nas universidades, além do apoio financeiro a uma iniciativa privada na área da produção, a TRANSIT" (2). É a fase em que os principais órgãos de atuação eram o GEICOM (Grupo Executivo Interministerial de Componentes e Materiais) que, com "delegação dos Ministérios das Comunicações e da Indústria e Comércio, assessorava os ministérios através de análises industriais, estudos, pareceres, etc., sugerindo as estratégias a serem seguidas e coordenando, informalmente, a política de produção e comercialização de componentes eletrônicos" (3), a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e a TELEBRÁS (Telecomunicações Brasileiras), que apoiavam a formação de recursos humanos e davam suporte científico e tecnológico.

(1) Baseamo-nos fundamentalmente no trabalho de Silva, Ana Lucia G. da: A Indústria de Componentes Eletrônicos Semicondutores: Padrão de Concorrência Internacional e Inserção no Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Economia da UNICAMP, Campinas, 1985, mimeo. Para a evolução da política nacional de informática antes da criação da SEI, veja Helena, Sílvia: "A Indústria de Computadores: evolução das decisões governamentais", in Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, 14(4) :73-109, outubro/dezembro 1980.

(2) Silva, Ana Lucia G. da: op. cit., p. 172.

(3) Idem, ibidem, p. 172.

Destacam-se nesta fase: a criação de e apoio a vários laboratórios universitários (1); o estabelecimento, por parte do governo, de uma política para o quartzo brasileiro visando a maximização das receitas cambiais advindas da exportação do minério, o incentivo à industrialização interna e um programa de capacitação de recursos humanos (2); e a formulação de programas para a microeletrônica (3).

Os resultados da Política para o Quartzo, que estabeleceu cotas de exportação, preços mínimos e aplicou um confisco sobre a receita de exportações, visando obter melhoria dos preços - cuja queda é patente desde fins da década de 50 pela concorrência do quartzo sintético - e constituir um fundo para financiar projetos de tecnologia na área do quartzo ficaram aquém do desejado: houve queda de 70% na ocupação de mão-de-obra no setor, ativação de outras fontes de suprimento e/ou desenvolvimento de novas tecnologias de beneficiamento e tratamento industrial do minério por parte das indústrias estrangeiras, a elevação do grau de concentração das empresas

-
- (1) Criação do Laboratório de Microeletrônica do Departamento de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - LME/EPUSP (1968); criação do Laboratório de Materiais de Grau Eletrônico do Setor de Materiais e Processos de Fabricação do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual de Campinas - MGE/UNICAMP (1974); ampliação do Laboratório de Eletrônica e Dispositivos do Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual de Campinas - LED/UNICAMP (1974) e apoio ao Laboratório de Pesquisa em Dispositivos da Universidade Estadual de Campinas - LPD/UNICAMP (1974). Veja maiores detalhes no apêndice a este capítulo.
- (2) O resumo da política para o quartzo encontra-se no apêndice a este capítulo.
- (3) Programa de Pesquisa e Desenvolvimento e Formação de Recursos Humanos na Tecnologia de Materiais de Grau Eletrônico (com início em 1976); Plano Nacional de Microeletrônica (1979-1984) e Plano Nacional de Semicondutores (1980-1982). Veja detalhes no Apêndice.

em atividade no setor no Brasil (1), e nenhuma melhora significativa do desempenho das exportações que pudesse ser atribuída à política definida pelo governo. A tabela 4.3 mostra o desempenho das exportações do quartzo brasileiro.

Nota-se que as quantidades de quartzo exportadas oscilavam, desde meados da década de 60, entre 3.000 e 4.000 toneladas anuais. Em 1974 alcançaram 7.600 toneladas, segundo Firme, "em decorrência da expectativa gerada quanto à política a ser implantada pelo governo brasileiro, o qual, em meados daquele ano, suspendeu temporariamente, as exportações de quartzo" (2). As vendas externas caíram no período de vigência da política, segundo a autora, "em decorrência das medidas adotadas ... uma vez que os grandes consumidores passaram a fazer uso de seus estoques" (3), só voltando a crescer a partir do fim da intervenção no setor.

Assim, em 1979 o governo estabeleceu um grupo de trabalho que veio a se chamar Grupo do Quartzo, com participação do Ministério da Indústria e Comércio (representado pela Secretaria de Tecnologia) e de representantes da indústria de transformação do quartzo, de exportadores, da CACEX, do setor minerador e do SNI, com o objetivo de analisar as alternativas possíveis para a política de quartzo no Brasil (4). O relatório final, divulgado em dezembro de 1984,

(1) Em 1974 havia 20 grandes empresas; em 1979 este número caiu para quatro grandes exportadores, que respondiam por mais de 90% das exportações, tanto em valor quanto em quantidade. Veja Grupo do Quartzo: Relatório Final, dezembro 1984, mimeo .

(2) Firme, Eliana Ferreira, Sumário Mineral, 1983, p. 83.

(3) Idem, ibidem, p. 83.

(4) Veja Data News, 09/07/85, p. 10-11.

TABELA 4.3 : EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS DE QUARTZO

Ano	Tonelada	10 ³ US\$ FOB	US\$/kg
1951	811	2.935	3,62
1952	916	3.505	3,83
1953	883	3.522	4,00
1954	630	1.590	2,52
1955	878	1.570	1,79
1956	966	1.280	1,32
1957	1.360	978	0,72
1958	881	530	0,60
1959	816	833	1,02
1960	1.392	1.025	0,74
1961	2.105	1.647	0,78
1962	1.566	1.564	0,99
1963	1.347	1.189	0,88
1964	1.685	1.570	0,93
1965	2.119	2.582	1,22
1966	3.254	2.427	0,75
1967	3.422	2.102	0,61
1968	3.598	1.975	0,55
1969	3.826	2.474	0,65
1970	5.910	3.039	0,51
1971	4.589	2.611	0,57
1972	3.259	1.981	0,61
1973	3.994	1.887	0,47
1974	7.648	6.092	0,80
1975	1.667	7.842	4,70
1976	1.762	3.940	2,24
1977	1.810	2.424	1,34
1978	2.087	2.676	1,28
1979	4.814	5.881	1,22
1980	5.235	6.545	1,25
1981	4.722	6.692	1,42
1982	7.399	10.106	1,37
1983	9.163	12.377	1,35
1984	4.727	6.487	1,37
1985	7.610	10.537	1,38

FONTES: DNPM/Anuário Mineral Brasileiro/CECEX: Cief, In: Braga, R.: Subsídios para uma Política Nacional do Quartzo e do Silício, CETEC, dezembro 1986, mimeo, p. 10.

conclui que "não se pode separar a política do quartzo (tecnológica) da do silício, pela indivisibilidade dos processos industriais dos mesmos, onde uma solução de continuidade cria pontos de estrangulamento incontornáveis", citando como exemplo o caso das fibras óticas que, segundo o mesmo relatório, "esbarra na importação (dependência externa) de tubos e bastões de sílica de grau eletrônico para puxamento" (1). Conclui ainda que "pelas características do mercado ... [monopsônico] ... medidas restritivas produzem pouco ou nenhum efeito positivo ... [acarretando] ... muitas vezes graves problemas sociais ...". A proposta do grupo é a de que a política futura para o segmento deveria objetivar quatro itens principais: desenvolvimento da mineração, desenvolvimento da tecnologia, desenvolvimento da industrialização e desenvolvimento da comercialização. Estes quatro objetivos foram desdobrados nas seguintes linhas mestras: 1) demonstrar economicamente o efeito multiplicador do insumo mineral da indústria; 2) estabelecer metas de produção, exportação e industrialização de quartzo, a partir dos planos nacionais de desenvolvimento; 3) implantar projetos minerais específicos, a fim de caracterizar o bem mineral no que diz respeito a reservas, quantidade e qualidade, com determinação do uso final (especificação industrial); 4) identificar oportunidades de investimento, após conclusão da diretriz anterior; 5) fortalecer a empresa de mineração e/ou exportação de quartzo (nacional), sem perder de vista a necessidade de atração de capital estrangeiro de risco; 6) obter linhas de financiamento atrativas e desburocratizadas; 7) realizar estudos sobre a viabilidade de uma asso-

(1) Grupo do Quartzo: op. cit., p. 18-19.

ciação dos produtores de quartzo; 8) desenvolver, a nível de governo, técnicas de "marketing" e comercialização de quartzo e seus produtos; 9) estender ao nível médio a capacitação de recursos humanos; 10) conceder prioridades para a pesquisa tecnológica, que elimine dependência, agregue maior valor e garanta a reserva de mercado quando necessária; 11) efetuar o cadastro nacional de equipamentos de beneficiamento e industrialização do quartzo; 12) estabelecer o perfil do minerador de quartzo brasileiro.

Dos programas elaborados nesta fase, apenas o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento e Formação de Recursos Humanos na Tecnologia de Materiais de Grau Eletrônico esteve voltado especificamente aos MGE. A origem deste programa foi um grupo de trabalho formado em 1976, com representantes dos setores universitário e empresarial, com o suporte da TELEBRÁS e que levantou o perfil das necessidades básicas de materiais de grau eletrônico no Brasil. Este grupo verificou que tanto o segmento produtivo quanto o de ciência e tecnologia desconheciam a importância econômica e tecnológica dos MGE e, em função disto, criou-se um grupo sediado na Faculdade de Engenharia da UNICAMP, voltado especificamente para este assunto, tendo como ponto básico de suas atividades a ênfase na "máxima, se não total, utilização de recursos e matérias-primas nacionais para o desenvolvimento de equipamentos, processos, produtos e técnicas de caracterização dos materiais de grau eletrônico ... [priorizando] ... os processos e produtos mais bá-

sicos ou de maior demanda tecnológica no Brasil" (1) .

Por sua vez, o Plano Nacional de Microeletrônica, elaborado pelo Laboratório de Microeletrônica da Escola Politécnica da USP (LME/EPUSP) para o período 1979-1984 diagnosticou dois tipos de estrangulamento com relação aos materiais de grau eletrônico: o primeiro relativo à ausência de padronização na indústria de componentes, o que, principalmente para os insumos necessários à fase de montagem e encapsulamento, criava a impossibilidade de produção em larga escala (2) . O segundo tipo de estrangulamento decorria da inexistência de normas e metas relativas ao ciclo de vida dos produtos bem como das tecnologias usadas no país, elevando o risco do investimento, especialmente pela falta de garantia de mercado. Além destes, o relatório cita o desconhecimento das dimensões do mercado de insumos, os altos investimentos iniciais em bens de produção, e a estrutura da indústria de componentes microeletrônicos no Brasil, dominada pela presença de empresas multinacionais, que fazia com que os centros de decisão de compras permanecesse fora do controle brasileiro. A solução proposta

(1) Em particular: conformação de fios metálicos capilares para microcontatos, purificação por fusão zonal de metais e preparação de ligas especiais para microsoldagem, obtenção de silício monocristalino para semicondutores, solidificação direcional de silício policristalino para células solares e formulação de polímeros especiais para encapsulamento. Veja UNICAMP: Programa MGE (Programa de Pesquisa e Desenvolvimento e Formação de Recursos Humanos na Tecnologia dos Materiais de Grau Eletrônico), relatório do primeiro semestre de 1981, Faculdade de Engenharia da UNICAMP, 1981, Campinas, mimeo . As diretrizes básicas deste programa encontram-se no apêndice a este capítulo.

(2) "A pulverização, em vários tipos de um determinado insumo, visto como uma grande diversificação ... [decorre do fato de] ... serem fabricados por empresas originárias de países diferentes ... com diferentes normas". LME-EPUSP: op. cit., p. 19-20.

para o fornecimento local de produtos químicos foi a de desenvolver a tecnologia de purificação de solventes, ácidos e bases em centros universitários e sua posterior transferência para pequenas empresas químicas que seriam qualificadas e cadastradas como fornecedoras do parque nacional de materiais para processamento de semicondutores. Com relação aos equipamentos de processamento, o relatório detectava como principal ponto de estrangulamento a rápida obsolescência dos mesmos, implicando em enormes gastos de desenvolvimento. Não houve propostas explícitas a não ser as de construir, em laboratórios, os equipamentos possíveis (dada a capacitação existente), e de importar o restante. *

Finalmente, o Plano Diretor de Semicondutores, elaborado pelo GEICOM para o período 1980-82, preconizava que "para se alcançar uma efetiva autonomia tecnológica, é necessário dotar o país de capacidade para produzir os insumos necessários, bem como os equipamentos usados em todo o processo produtivo", através do "estímulo a empresas nacionais para a produção local de insumos; produção subvencionada, em institutos e outras entidades, de insumos e componentes estratégicos cuja produção não seja comercialmente atraente; e apoio às iniciativas nacionais de desenvolvimento e produção de equipamentos para as linhas de produção de componentes semicondutores e/ou laboratórios de pesquisa" (1).

A segunda fase da política brasileira de apoio às empresas de capital nacional no setor de microeletrônica "caracteriza-se pela criação de instrumentos e mecanismos de in-

(1) GEICOM: Plano Diretor de Semicondutores, 1979, mimeo, p. 9.

"intervenção no setor e pela definição de uma estratégia integrada e abrangente para o mesmo" (1), sob a responsabilidade da Secretaria Especial de Informática - SEI.

O marco inicial desta fase é a criação da SEI (1979), seguido pela criação do Centro Tecnológico para a Informática (1982), a elaboração do III PBDCT (1980-1985), a aprovação, pelo Congresso Nacional, da Lei de Informática (1984) e a formulação do I PLANIN (1985-1987) (2).

A SEI foi criada com o objetivo de "assessorar na formulação da Política Nacional de Informática e coordenar sua execução como órgão superior de orientação, planejamento e fiscalização, tendo em vista, especialmente, o desenvolvimento científico e tecnológico no setor"; criou uma Comissão Especial de Microeletrônica - CEM, para "formular políticas e diretrizes, no setor de microeletrônica, com vistas à capacitação nacional na pesquisa e produção de insumos básicos e materiais de processamento, de microcircuitos e equipamentos de laboratório e industriais e de componentes eletromecânicos, semicondutores e outros afins ao setor", cujos relatórios e recomendações subsidiaram a elaboração do Plano Nacional de Microeletrônica, definindo a estratégia de nichos baseada nos circuitos integrados de aplicação específica. Com relação aos insumos, o relatório final desta comissão (3) previa, baseado em dados da GREAT WESTERN SILICON, e apoiando-se na cres-

(1) Silva, A.L.G.: op. cit., p. 172.

(2) Maiores detalhes poderão ser encontrados no apêndice a este capítulo.

(3) Veja SEI: Relatório Final da Comissão Especial de Microeletrônica, Subsecretaria de Atividades Estratégicas, Comissão Especial de Microeletrônica, Brasília, julho 1980, mimeo.

cente utilização de células solares (decorrente da crise energética mundial), que haveria falta de silício a nível mundial, o que poderia tornar-se "um elemento de pressão entre as nações" (1). Não houve, no entanto, nenhuma proposta neste sentido, a não ser a inclusão, entre as características de "autonomia nacional", da referência à "mínima necessidade de importação de insumos, equipamentos, tecnologia de processos e projeto de produtos indispensáveis à fabricação de componentes de microeletrônica" (2) e a recomendação (em consideração à situação conjuntural do balanço de pagamentos e à necessidade de proteção à indústria nacional de microeletrônica), de que "a SEI estabeleça um sistema de controle e limitação de importação de componentes de microeletrônica, seus insumos e bens de capital e adote medidas que permitam minimizar seus custos de aquisição e as condições iniciais de custo afim de tornar competitivos os produtos fabricados por empresas nacionais" (3).

O Plano Nacional de Microeletrônica recebeu ainda contribuições do Grupo de Assessoramento de Microeletrônica - GAM, criado em 1981 "para dar suporte à SEI no planejamento e implantação dos programas e projetos do setor de microeletrônica" e que propôs, em seu relatório datado de 1984 (após a aprovação da Lei de Informática), a elaboração de estudos específicos "para uma política industrial e tecnológica para a

(1) SEI: op. cit., p. 32. É interessante ressaltar que esta previsão contraria outras, como veremos a seguir. Não há nenhuma outra menção a qualquer outro tipo de material de grau eletrônico ou equipamentos de produção.

(2) SEI: op. cit., p. 41.

(3) SEI: op. cit., p. 47.

área de insumos de grau eletrônico para a indústria microeletrônica, também incluída no escopo da lei, inclusive com medidas previstas de proteção às empresas nacionais atuantes" e para uma "política industrial e tecnológica para outros tipos de insumos para a indústria microeletrônica" (1).

O III PBDCT (1980-1985), por sua vez, recebeu contribuições do GEICOM, cujo relatório abarcava os segmentos de microeletrônica, optoeletrônica, cristais líquidos, quartzo, circuitos impressos e células solares (2). A Ação Programada de Comunicações, Eletrônica e Informática para o III PBDCT identificou, como dificuldades que prejudicavam o desenvolvimento da capacidade de P & D no setor de microeletrônica, "a escassez de recursos humanos qualificados para atividades de P & D; ausência de expectativas em nível razoável, de emprego em P & D no setor, desmotivando os estudantes; infra-estrutura incipiente de apoio ao setor, traduzida pela ausência de fabricação nacional da maioria dos equipamentos, instrumentos e insumos necessários, pela ausência de empresas com experiência em instalações e manutenção de laboratórios de microeletrônica, pela ausência de estruturas e mecanismos gerenciais e administrativos consistentes com a dinâmica do setor, etc.; inadequação dos mecanismos de suporte financeiro aos laboratórios universitários, cuja sustentação ainda depende excessivamente de entidades externas às universidades; ausência de uma política salarial uniforme para os vários laboratórios universitários no setor". Definiu como prioridade a for-

(1) GAM: Subsídios para a Formulação de uma Política Nacional de Microeletrônica, 06/11/84, mimeo , p. 10.

(2) GEICOM: Ação Programada do III PBDCT - Proposição do GT-2 (Componentes e Insumos) - Relatório Final, 1982, mimeo.

mação de recursos humanos (desde a adaptação dos cursos de graduação, estabelecimento de cursos de reciclagem e/ou especialização, até a intensificação da formação em nível de pós-graduação no exterior), a coordenação de trabalhos de P & D e a integração dos esforços das entidades de apoio financeiro ou contratantes dos laboratórios. No que se refere especificamente aos insumos, destacava apenas o quartzo, definindo como linha de ação e prioridades para este segmento: "apoiar atividades de P & D em quartzo que visem, principalmente, sua utilização em dispositivos semicondutores, fibras óticas, fundidos de quartzo e ligas metálicas, além do desenvolvimento de processos de beneficiamento de areias silicosas e quartzosas; racionalização da atividade de mineração, evitando ou impedindo a lavra predatória, a fim de preservar nossas reservas de quartzo; preferência na exportação de cristais cultivados e não de cristais naturais; apoio à montagem de indústrias para moagem e purificação de areias quartzosas ou silicosas com utilização de equipamentos e componentes disponíveis no mercado nacional e de acordo com as normas exigidas internacionalmente; fomento à produção de lâminas de quartzo cultivado para cristais osciladores inclusive levando em consideração perspectivas de exportação" (1).

Seguiu-se à aprovação da Lei de Informática pelo Congresso Nacional (Lei 7.232 de 29/10/84), o Programa de Microeletrônica para os Laboratórios Universitários (1984-1987),

(1) Note-se que entre o relatório do GEICOM e a Ação Programada para o III PBDCT foi eliminada a proposta de restrição à importação via política tarifária como forma de estímulo à fabricação de produtos do quartzo.

posteriormente incorporado ao Plano Básico de Pesquisa e Desenvolvimento e Formação de Recursos Humanos em Microeletrônica (1985-1987), e o Plano Nacional de Quartzo e do Silício. Destaque-se que no primeiro, a Subcoordenação da meta "Capacitação na Obtenção de Insumos Básicos para a Microeletrônica" sugeriu a criação de "um mecanismo para o levantamento quantitativo das necessidades de cada insumo, por parte do conjunto dos laboratórios e empresas consumidoras", com pessoas encarregadas de manter contato com as universidades e empresas nas áreas de metais, produtos químicos, cerâmicas, polímeros, gases e outros. Sugeriu ainda que se incentivasse os grupos de microeletrônica consumidores de insumos a entrar em contato com empresas que já produzem o insumo básico, com o objetivo de aprimorar seu processamento e obtenção dos insumos com as características adequadas.

O Plano Nacional do Quartzo, cuja elaboração terminou em 1985, por seu lado, tinha por objetivo a "industrialização de recursos naturais existentes no país na forma de jazidas de quartzo (dióxido de silício) e sua posterior exportação", e previa a produção de quartzo sintético, quartzo fundido e silício.

Em abril de 1986 foi lançado o I Plano Nacional de Informática e Automação - PLANIN - (1985-1987), com referências apenas vagas à questão dos insumos, restrita às diretrizes de "estimular e incentivar projetos de desenvolvimento e fabricação de bens de capital para o setor de microeletrônica". O I PLANIN definiu uma estratégia de nacionalização paulatina da produção dos componentes semicondutores que beneficia apenas as empresas consumidoras de insumos

QUADRO 4.3 : PLANO NACIONAL DO QUARTZO E DO SILÍCIO

Fases	Objetivos	Descrição	Valor	Prazo
1ª	Formação de equipe coordenadora e levantamento de dados técnicos e mercadológicos no país e no exterior, necessários a um detalhamento da importação de tecnologia que se faça necessária, da exportação de nossos produtos e da manutenção tecnológica a ser realizada.	- Infra-estrutura administrativa - Recursos para viagens no país e no exterior (200 homens-dia no país e exterior ao ano).	US\$ 0.1 m/ano US\$ 0.1 m/ano	
2ª	Compra de tecnologia e equipamentos para plantas piloto para fabricação de produtos de quartzo fundido e silício policristalino.	- Instalação de planta-piloto para produção de quartzo fundido - Operação da planta - Instalação da planta-piloto para produção de silício policristalino (capacidade: 25 ton/ano) - Operação da planta	US\$ 1 m US\$ 0,2m/ano US\$ 15 m US\$ 0,3 m/ano	1 ano 2 anos
3ª	Realização de trabalhos de desenvolvimento tecnológico visando o aprimoramento dos produtos já existentes, e aumento da capacidade e eficiência de produção da indústria nacional, para permitir a exportação de seus produtos.	<u>Quartzo Sintético :</u> a) Construção no país de um auto-clave industrial cabeça de série para produção de barras de quartzo cultivado (capacidade 6 ton/ano). b) Desenvolvimento de novas técnicas de preparação e encapsulamento de lâminas de quartzo para cristais de relógio de pulso, filtros a cristais, etc <u>Quartzo Fundido:</u> fusão, corte e lapidação de barras de quartzo fundido	US\$ 0,5 m/ano US\$ 2 milhões US\$ 2 milhões	8 meses 3 anos 2 anos
4ª	Manutenção tecnológica dos produtos exportados, através de trabalhos de pesquisa e desenvolvimento realizados na própria indústria ou em universidades e Centros de Pesquisa.	Quartzo sintético Quartzo fundido Silício	US\$ 2 m/ano US\$ 1 m/ano US\$ 1 m/ano	

.(através da isenção de impostos ou redução de alíquotas), não havendo, de fato, nenhum tipo de incentivo à produção dos mesmos.

Em 1986, a mesma portaria do Ministério de Ciência e Tecnologia que criou o Núcleo de Estudos e Planejamento em Novos Materiais - NMAT, criou também a Comissão de Novos Materiais com o objetivo de elaborar um Programa Bienal de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Novos Materiais. Esta comissão, em trabalho publicado em 1987, ressaltou, com relação ao segmento de quartzo e silício, a necessidade de: i) acelerar a formação e capacitação, em todos os níveis, dos recursos humanos envolvidos em P & D; ii) "apoiar o reequipamento e aprimoramento dos centros de pesquisa e universidades que desenvolvem atividades desde a caracterização do mineral até a obtenção dos produtos de quartzo e silício"; iii) como oportunidades imediatas de P & D, "gerar projetos de engenharia básica para a produção de quartzo cultivado (1) e incentivar a pesquisa objetivando o domínio da tecnologia de pó de quartzo de alta pureza, quartzo fundido, silício de grau eletrônico e grau solar"; iv) no que se refere à garantia de qualidade, "normalização e controle de qualidade industrial"; v) com re-

(1) A empresa ABC Xtal é a única produtora de quartzo cultivado no país, com tecnologia da MOTOROLA e produção correspondente a 1% do mercado mundial. Segundo a Revista Nacional de Telemática, maio 1984, p. 21-22, há apenas 12 fabricantes mundiais de quartzo cultivado ou quartzo sintético. É interessante notar que para a produção de fibras óticas a ABC Xtal depende da importação dos tubos de quartzo de alta pureza, dos gases para difusão e dos equipamentos. Veja Queiroz, Sergio et alii: Novos Materiais: Subsídios para uma Estratégia de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Relatório de Pesquisa do Convênio MCT/UNICAMP-NPCT, Campinas, Núcleo de Política Científica e Tecnológica, Universidade Estadual de Campinas, 1987, mimeo , p. 68.

lação à implantação de unidades produtoras, propos "apoiar a implantação ou expansão de indústrias nas seguintes áreas: pó de quartzo de alta pureza; quartzo cultivado; osciladores; quartzo fundido; fibras óticas de baixa atenuação; silício de grau eletrônico; silício de grau solar". Finalmente, propôs a articulação entre o Ministério de Ciência e Tecnologia, o Ministério das Minas e Energia, e o Ministério da Fazenda, para atuar no "levantamento completo das reservas minerais brasileiras; avaliação das formas de regulamentação e controle do comércio, com a conseqüente valorização das matérias-primas e produtos, principalmente aqueles exportados; compra, estocagem e controle de saída, por parte do governo, de blocos de quartzo piezoelétrico (1) acima de 5-10 kg; estabelecimento de classificação de lascas de quartzo baseada em argumentos científicos, propiciando a obtenção de receitas compatíveis com o real valor das matérias-primas comercializadas; análise da possibilidade de utilização de quartzito em substituição ao quartzo, como matéria-prima para produção de silício metalúrgico e ligas de ferro-silício". Quanto à aplicação de recursos, o programa estipulava, para a área de quartzo e silício:

(1) Na síntese de avaliação, o documento do MCT registra que o Brasil é o único produtor mundial de blocos de quartzo piezoelétrico e que estes estão, atualmente, em extinção.

TABELA 4.4 : APLICAÇÃO DOS RECURSOS - Programa Bienal de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Novos Materiais - 1987/1988 - (Cz\$ milhões)

	Total ¹								Quartzo e Silício							
	FUNAT/MCT ²		FINEP		CNPq		Total		FUNAT/MCT ²		FINEP		CNPq		Total	
	1987	1988	1987	1988	1987	1988	1987	1988	1987	1988	1987	1988	1987	1988	1987	1988
	1987	1988	1987	1988	1987	1988	1987	1988	1987	1988	1987	1988	1987	1988	1987	1988
Estudos e Planejamento	10	15	5	5	-	-	15	20	2	3	1	1	-	-	3	4
Formação e Especialização em R.H. ³	6	40	10	15	192	394	208	449	1	5	2	3	22	45	25	53
Consolidação de Infra-estrutura	74	130	30	50	-	-	104	180	5	25	5	10	-	-	10	35
Pesquisa e Desenvolvimento	48	210	420	860	18	36	486	1.106	5	35	104	70	8	17	117	122
Garantia de Qualidade	12	25	5	20	-	-	17	45	2	5	-	5	-	-	2	10
Implantação de Unidades Produtivas	-	-	30	50	-	-	30	50	-	-	6	13	-	-	6	13
Total	150	420	500	1.000	210	430	860	1.850	15	73	118	102	30	62	163	237

1. Novos materiais metálicos, cerâmicas avançadas, polímeros especiais, compósitos quartzo e silício.

2. Recursos orçamentários próprios do MCT.

3. Apenas especialização, excluindo bolsas no país e no exterior.

FONTE: MCT: O Desafio dos Novos Materiais - Programa Brasileiro (Programa Bienal de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Novos Materiais, elaborado por Comissão Especial do Ministério de Ciência e Tecnologia - Oportunidades Imediatas de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Novos Materiais), Brasília, 1987.

Finalmente, para a formulação do II PLANIN (1989-1992) foi formado, dentro do Grupo de Microeletrônica, um subgrupo de Insumos e Materiais, composto por representantes do Ministério de Ciência e Tecnologia (SEI, Núcleo de Estudos e Planejamento em Novos Materiais - NMAT e FINEP), de empresas e laboratórios. A primeira reunião, realizada no início de 1988, sugeriu a criação de uma central de insumos, que seria coordenada pela SEI, com o objetivo básico de "superar entraves quanto ao fornecimento de insumos nas qualidades adequadas". Esta central teria como função comprar e estocar insumos (principalmente dopantes, produtos químicos para fotolitografia e filmes), de forma que, além de facilitar as importações e permitir maior poder de barganha com relação aos preços (pe-lo volume demandado), formaria ainda estoques estratégicos. Discutiu-se também a criação de um "pólo silício-químico", cuja função seria a de produzir os vários insumos e materiais derivados do processamento de sílica, em particular silanos, silício grau eletrônico, silicones, óleos graxos, artefatos de quartzo fundido, vidros óticos e outros, como polímeros e gases puros. Finalmente, decidiu-se implantar e/ou ampliar a produção de uma série de materiais e produtos, bem como apoiar pesquisas de desenvolvimento e aprimoramento em algumas áreas do setor, apoiar unidades-piloto já existentes e a formação de recursos humanos.

4.5. O Diagnóstico do Quartzo e do Silício no Brasil ^(1)

As reservas de quartzo brasileiro são estimadas em 22 milhões de toneladas, sob a forma de blocos e lascas ^(2), e perfazem aproximadamente 95% das reservas mundiais. O Brasil exporta, em média, 100.000 toneladas anuais de quartzo, das quais 8.000 na forma de lascas (matéria-prima para a produção de quartzo cultivado e fundidos de quartzo) e o restante como silício elementar (com 98% de grau de pureza) e ferro-silício, configurando-se como o maior exportador mundial ^(3). O

(1) Veja, no Anejo Técnico, a matriz de aplicações do quartzo.

(2) Há quatro categorias de quartzo: a) quartzo piezoelétrico: seu preço varia com o tamanho, e pode chegar a US\$ 1.000/kg, quando aproveitável para a produção de "sementes" para quartzo cultivado; b) lascas de primeira: fragmentos de quartzo abaixo de 200 gramas, não apresentando faces cristalinas, jaças, fio azul e bolhas, com preço aproximado de US\$ 6/kg; c) lascas de segunda: fragmentos de quartzo abaixo de 200 gramas, livres de faces cristalinas, apresentando jaças, bolhas e fio azul, com preço aproximado de US\$ 2,5/kg; d) lascas de terceira: lascas entupidas ou totalmente leitosas, sem faces naturais, de preço aproximado de US\$ 1,1/kg. Veja Braga, Ruben: Subsídios para uma Política Nacional do Quartzo e do Silício, CETEC, dezembro 1986, p. 7 e anexo III, p. 1. As lascas também são chamadas de quartzo leitoso cristalino.

(3) Braga, Ruben: op. cit., anexo II, p. 26. Segundo Andrade, Adnei Melges de: Considerações sobre o Silício e o Quartzo de Alta Pureza no Brasil, preparado para a Comissão de Novos Materiais do Ministério de Ciência e Tecnologia, novembro 1986, mimeo, p. 62, o Brasil exporta a lasca de melhor qualidade a preços em torno de US\$ 2/kg, e importa produtos industrializados (processados), não produzidos no país, tais como: quartzo sintético (a US\$ 40/kg), silício de grau eletrônico policristalino (a US\$ 60/kg), quartzo fundido (a US\$ 100/kg) e lâminas de silício para a microeletrônica, ou silício monocristalino (a US\$ 1.200/kg). No período 1977-82, as exportações de quartzo constituíram-se basicamente de lascas (98,7% em quantidade e 96% em valor); em 1982 exportou-se 43,7 toneladas de quartzo em bruto de propriedade piezoelétrica, enquanto que em 1982 as exportações caíram para 3,4 toneladas. Veja Grupo do Quartzo, Relatório Final, dezembro 1984, mimeo, p. 16.

maior consumo de quartzo no Brasil está na produção de silício metalúrgico (da ordem de 80.000 toneladas anuais) e ligas de ferro-silício.

A principal propriedade do quartzo para a indústria eletrônica em geral é a piezoeletricidade, que "consiste no desenvolvimento de cargas elétricas nas faces do quartzo quando nelas são aplicados esforços mecânicos e, inversamente, deformações mecânicas quando submetido a um potencial elétrico" (1). Este tipo de quartzo também é denominado quartzo eletrônico, pois sua aplicação na eletrônica baseia-se nesta propriedade e, embora haja outros cristais piezoelétricos, "apenas este tipo de quartzo oferece a necessária combinação de propriedades mecânicas, elétricas, químicas e térmicas suficientemente estáveis para uso econômico na microeletrônica" (2).

A principal aplicação do quartzo piezoelétrico é na fabricação de osciladores e filtros, bem como na preparação de "sementes" para a produção de quartzo cultivado (ou sintético) (3).

O Brasil, único produtor mundial de blocos de

(1) Firme, Eliana Ferreira, Sumário Mineral, 1983, p. 82.

(2) Idem, ibidem, p. 82.

(3) A produção de quartzo cultivado necessita de "sementes" - preferentemente originárias de blocos de quartzo piezoelétrico - e de "nutrientes" - lascas. Embora possa-se usar blocos de quartzo cultivado para a produção de "sementes", este procedimento apresenta limitações técnicas, já que os defeitos das "sementes" tendem a se propagar no cristal crescido. Considera-se que as lascas de terceira são ideais, como "nutrientes", para a produção de quartzo cultivado, com rendimento de proporção aproximada 1:1 (1 kg de lasca produz aproximadamente 1 kg de quartzo cultivado).

quartzo piezoelétrico com peso acima de 1 kg (1), já foi o maior fornecedor desta matéria-prima a nível mundial, e vem perdendo parcela de mercado para o quartzo cultivado, cuja tecnologia foi desenvolvida a partir do início da década de 60 (2); atualmente, apenas 5% dos cristais osciladores - obtidos a partir do corte de lâminas ("blanks") de quartzo, são obtidos do quartzo piezoelétrico natural (3).

A quase totalidade da produção de quartzo no Brasil é feita a céu aberto, apenas em alguns casos em túneis rasos e a mecanização é incipiente. Desta forma, o rendimento da extração é extremamente baixo, em termos de material de boa qualidade extraído - da ordem de uma parte para cerca de 25.000 partes de material desmontado das jazidas (4). O material de pior qualidade, quartzo leitoso cristalino (mais conhecido como lasca de quartzo), é utilizado como "nutriente" para a produção de quartzo cultivado, fundidos de quartzo, ferro-silício e silício.

O Brasil dispõe de tecnologia própria para a produção de quartzo cultivado e osciladores, desenvolvida pelo CETEC de Minas Gerais e pelo Laboratório do Quartzo do Instituto de Física da UNICAMP. A implantação da produção em escala industrial de quartzo cultivado deve, no entanto, atentar para o desenvolvimento tecnológico deste segmento, uma vez que as constantes modificações nas especificações das características

(1) Braga, Ruben, op. cit., p. 7.

(2) A primeira planta-piloto de quartzo cultivado data de 1958. Braga, op. cit., p. 27.

(3) Grupo do Quartzo: op. cit., p. 10.

(4) Andrade, Adnei Melges de: op. cit., p. 66.

dos osciladores levam a que se desaconselhe a formação de estoques de blocos de quartzo cultivado (1). Apenas a empresa ABC Xtal S.A. produz quartzo cristalino sintético em escala industrial, com participação de 1,5% na capacidade instalada da indústria mundial de quartzo cultivado, estimada, em 1984, em torno de 1.006 toneladas anuais (2). O mercado mundial de quartzo cultivado, por sua vez, está estimado em 3.000 toneladas anuais. Segundo Braga (3), o preço do quartzo cultivado é da ordem de US\$ 100/kg, enquanto um cristal oscilador, cuja lâmina de quartzo pesa em torno de 0,08 gramas, é vendido a US\$ 1/kg. Estima-se que a demanda mundial de cristais osciladores esteja em torno de 250 milhões de unidades, ou US\$ 375 milhões (4).

Um produto importante do quartzo é o fundido de quartzo (ou quartzo fundido), que tem, predominantemente, aplicações indiretas. Sua principal propriedade é poder ser levado a altíssimos graus de pureza, com o que são utilizados em cadinhos para obtenção de silício monocristalino de grau eletrônico, como revestimento dos fornos de difusão, como naves, carregadores e sistemas auxiliares de limpeza no processamento de dispositivos semicondutores, além de serem utiliza-

(1) Este deve ser um dos importantes motivos pelos quais as principais empresas produtoras de cristais osciladores fabricam seu próprio quartzo cultivado. Veja Braga, R.: op. cit., p. 7.

(2) Os principais países produtores são os EUA, Japão, Alemanha Ocidental, Inglaterra, Bélgica e França. Grupo do Quartzo, op. cit., p. 9.

(3) Braga, R.: op. cit., p. 15.

(4) Grupo do Quartzo, op. cit., p. 10.

dos na fabricação de vidros óticos (1) e fibras óticas (2) .

No Brasil, o processo de fabricação de quartzo fundido parte da fabricação de quartzo granulado e vem sendo desenvolvido pelo Laboratório de Quartzo da UNICAMP, em convênio com a JICA (Japan International Cooperation Agency) e o MITI; há também um trabalho realizado pelo Departamento de Minas e Energia da Escola Politécnica da USP, que desenvolveu um processo de purificação hoje utilizado em escala industrial pela CRISTOBALITA Ltda (3), mas não se obteve ainda a tecnologia de conformação de quartzo fundido para manufatura de revestimento para fornos de difusão, navetas, carregadores, cadinhos, técnicas de polimento de substratos, lentes e prismas para aplicações especiais. Também os produtos de quartzo fundido necessários à fabricação de fibras óticas são importados (4) .

De todos os derivados do quartzo, o que nos interessa de perto é o silício de grau eletrônico. O ciclo tecnológico para sua obtenção pode ser resumido em quatro etapas básicas, a saber: obtenção de silício grau metalúrgico com pureza de 98,5%; obtenção de clorosilano propriamente dito e sua purificação por destilação fracionada, com posterior deposição do silício policristalino com pureza de 99,999%; crescimento do silício monocristalino; e purificação do silício monocris-

(1) O vidro ótico pode ser obtido pela fusão de areia pura (gerando o vidro de sílica pura) ou pela fusão de quartzo não piezoelétrico ou lascas (gerando o vidro de quartzo 96%). O primeiro método de obtenção requer processos de beneficiamento sofisticados. Veja Grupo do Quartzo: op. cit., p. 10.

(2) Para o processo de produção de fibras óticas, veja o Anexo Técnico.

(3) Andrade, Adnei Melges de, op. cit., p. 68.

(4) Idem, ibidem, p. 68.

tal até grau eletrônico, via fusão zonal (1). Seu uso pela indústria microeletrônica exige ainda as etapas de polimento e fabricação de lâminas epitaxiais (2).

O Brasil domina apenas as etapas de obtenção de silício grau metalúrgico e do crescimento do silício monocristalino a partir do silício policristalino. A fabricação e purificação de clorosilana bem como a deposição de silício policristalino são consideradas as etapas mais difíceis de superar, e requerem investimentos de maior volume, da ordem de US\$ 30 milhões a US\$ 40 milhões, para uma planta que produza de 100 a 200 toneladas anuais (3).

Estas dificuldades técnicas podem ser superadas através de esforços coordenados na área, mas a implantação de uma indústria de silício de grau eletrônico verticalmente integrada poderá enfrentar problemas de tamanho de mercado: avalia-se que o mercado brasileiro de silício de grau eletrônico seja de aproximadamente 10 toneladas anuais, composto, quase que exclusivamente, pelo consumo na forma de dispositivos semicondutores prontos (4), em grande parte importados como "chips". Este tipo de consumo não parece configurar-se em incentivo adequado para que a atividade privada se interesse pe-

(1) O processo de fusão zonal (FZ) produz monocristais de qualidade superior ao método Czochralski (CZ): "na maioria dos casos, o silício FZ é usado em aplicações em que o silício CZ não preenche requisitos necessários", Andrade, A.M.: op. cit., p. 14.

(2) Veja, no Anexo Técnico, o fluxograma dos processos principais de obtenção do silício de grau eletrônico e das lâminas de silício monocristalino.

(3) Andrade, A.M.: op. cit., p. 48.

(4) Idem, ibidem, p. 29.

la produção industrial deste material (1).

O real consumo de silício (policristalino) no Brasil deve-se, atualmente, principalmente à única empresa nacional produtora de monocristais, com capacidade de processamento de 25 toneladas anuais (2).

Por sua vez, o mercado interno potencial de silício monocristalino para uso em microeletrônica é composto basicamente pelas empresas que realizam a etapa de difusão dos componentes, que, atualmente, são: SID MICROELETRÔNICA (brasileira, realiza a difusão de diodos, transistores, tiristores, e circuitos integrados lineares), AEGIS (brasileira, realiza a difusão de diodos e tiristores), ICOTRON (alemã, realiza a difusão de diodos, transistores e tiristores) e SEMIKRON (alemã, realiza a difusão de diodos e tiristores (3)).

Ressalta-se ainda que a instalação de uma planta de produção de silício policristalino só seria viável para escalas de produção de 100 ou mais toneladas anuais, quantidade quatro vezes superior ao consumo interno, o que impõe a necessidade de exportar-se o excedente (4).

(1) Ainda assim, há registros da existência de interesse pela produção de silício de grau eletrônico, a partir da produção de silício de grau metalúrgico, pela CAMARGO CORREA, pela BRASMAG (do grupo METALUR, um dos maiores produtores de silício de grau metalúrgico), além da HELIODINÂMICA S.A. SISTEMAS DE ENERGIA RENOVÁVEL. Andrade, A.M.: op. cit., p. 42.

(2) Trata-se da HELIODINÂMICA, que produz monocristais a partir de policristais importados. Parte do monocristal produzido pela empresa é utilizado para a fabricação de substratos para células solares (a empresa produz painéis solares), embora a maior parcela seja exportada. Andrade, A.M.: op. cit., p. 29.

(3) Veja o quadro 4.1.

(4) Que seria de 75% do total produzido, considerando-se a capacidade de processamento da HELIODINÂMICA, anteriormente citada, de 25 toneladas anuais.

Esta estratégia (de exportação do excedente), por sua vez, poderá se defrontar com um mercado internacional saturado: há indicações de uma tendência ao excesso de capacidade instalada a nível mundial (1), neste segmento, como se verifica pelos gráficos 4.1 e 4.2 .

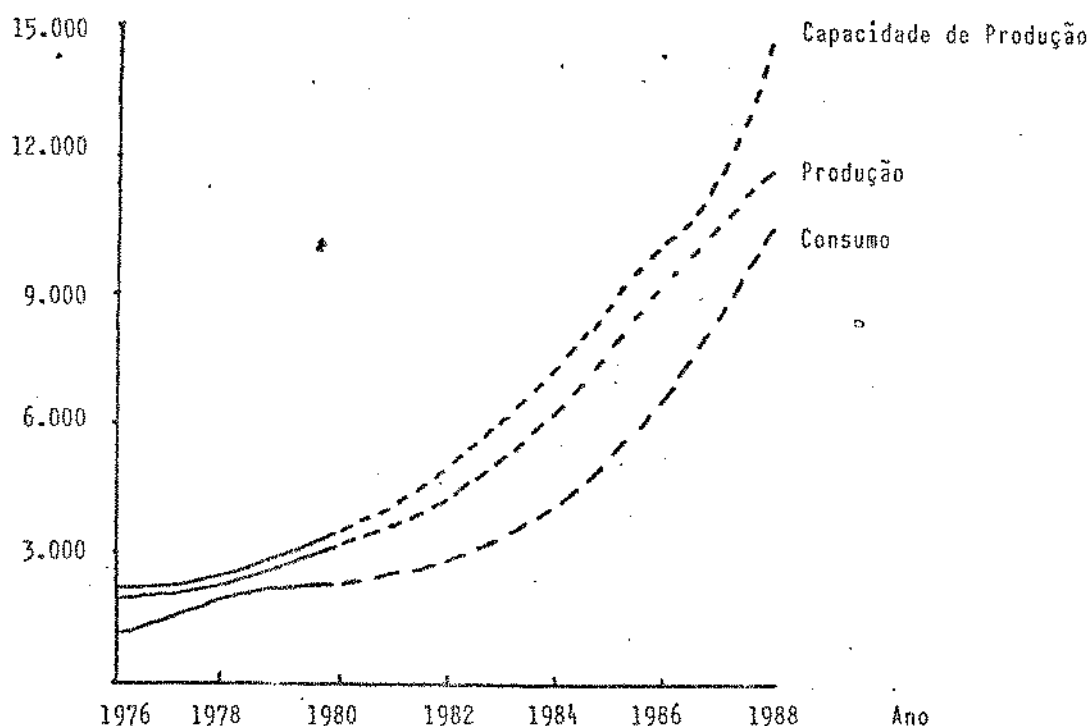
A situação não se desagrava mesmo que se considere a previsão otimista de crescimento do mercado deste material para uso fotovoltaico (células solares) (2), pois este não parece ser suficiente para reduzir o excesso de capacidade instalada, e isto por dois motivos básicos: primeiro, a indústria fotovoltaica utiliza-se de uma parcela de produção do silício de grau eletrônico denominado "off-grade material", de qualidade superior à necessária, a um preço de até US\$ 25/kg (3); segundo, existem pesquisas no sentido de se en-

(1) Este diagnóstico contradiz o utilizado pela Comissão Especial de Microeletrônica, anteriormente citado.

(2) Veja, no Anexo Técnico, o fluxograma do processo de obtenção de silício grau solar, que é usado nas células solares.

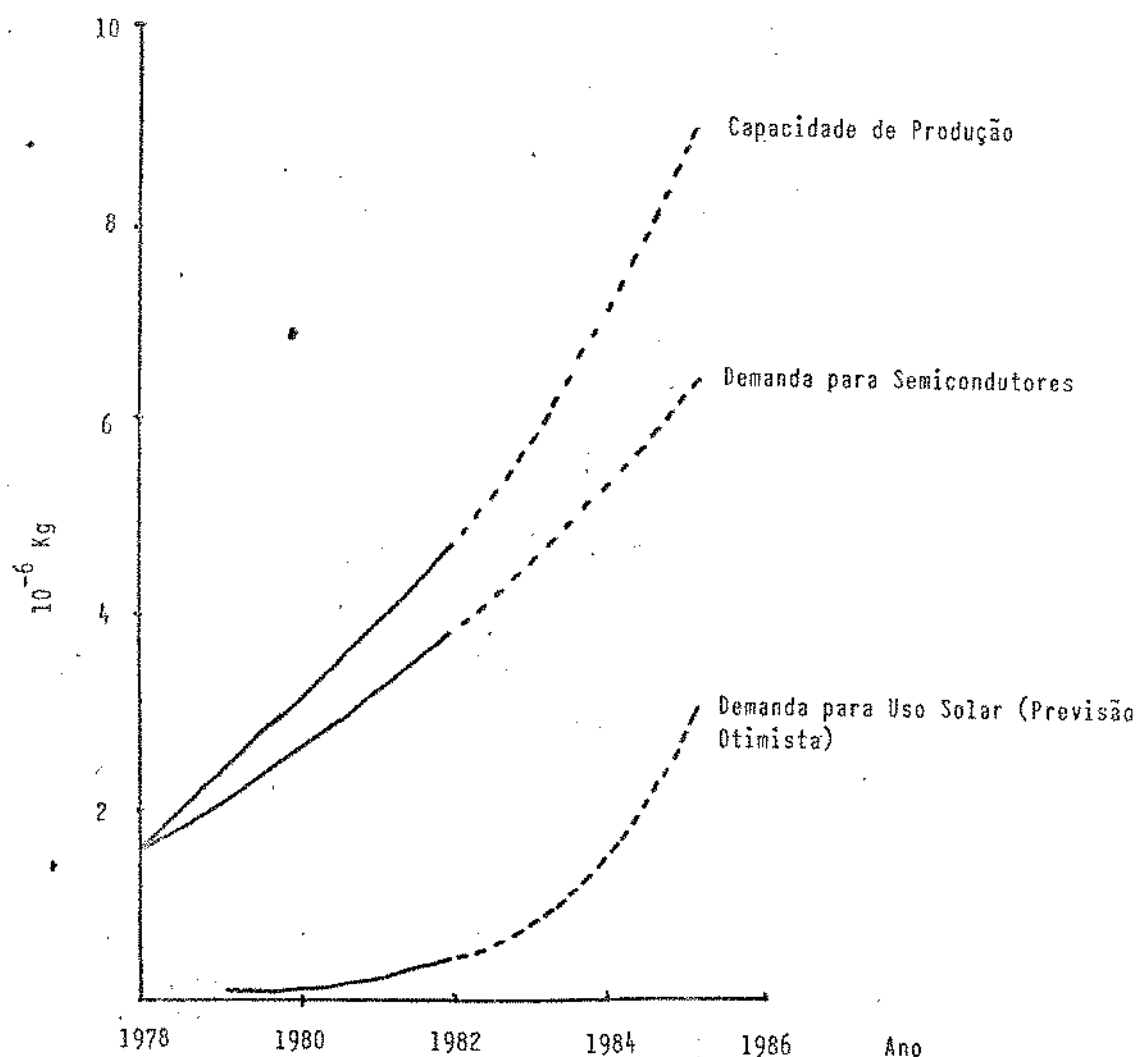
(3) Segundo Andrade, Adnei Melges de: op. cit., p. 22-23, "devido à falta de um material de qualidade intermediária entre o silício de grau metalúrgico e o de grau eletrônico, e uma compreensão apenas incompleta do efeito das impurezas nas propriedades fotovoltaicas do silício, não existe uma definição clara do que seria o silício 'grau solar' ... [mas apenas] ... uma definição operacional de um material que permita a fabricação de células solares". O autor sugere que silício "grau solar" seja "aquele material que, custando no máximo de US\$ 10 a US\$ 15 por quilo, permita fabricar células solares de, no mínimo, 10% de eficiência de conversão". Para uma explicação sobre "off-grade material", veja nota do capítulo 3, pag. 108.

GRÁFICO 4.1: CONSUMO, PRODUÇÃO E CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE SILÍCIO POLICRISTALINO DE GRAU ELETRÔNICO A NÍVEL MUNDIAL (1976-1988)



FONTE: Costogno, E.N. e Ferber, R.R.: "Polycrystalline Silicon Material Availability and Market Pricing Outlook for 1980 through 1988", Proceedings of the 5th E.C. PVSEC, Athens, October 17-23, 1983, reproduzido em: Andrade, A.M.: Considerações sobre o Silício e o Quartzo de Alta Pureza no Brasil, preparado para a Comissão de Novos Materiais do Ministério de Ciência e Tecnologia, no vembro 1986, mimeo.

GRÁFICO 4.2 : CAPACIDADE PRODUTIVA E CONSUMO DE SILÍCIO POLI-CRISTALINO DE GRAU ELETRÔNICO, A NÍVEL MUNDIAL (1978-1986)



FONTE: Pizzini, S.: "Solar Grade Silicon as a Potential Candidate Material for Low-Cost Terrestrial Solar Cells", in: Solar Energy Materials, 6, p. 253-297, 1982, reproduzido em Andrade, A.M.: Considerações sobre o Silício e o Quartzo de Alta Pureza no Brasil, preparado para a Comissão de Novos Materiais do Ministério de Ciência e Tecnologia, novembro 1986, mimeo.

contrar métodos alternativos de produção, a um preço de US\$ 10/kg, a US\$ 15/kg (1).

Em outras palavras, há uma tendência ao excesso de oferta, a nível mundial, de silício policristalino de grau eletrônico, que não poderá contar, no médio e longo prazo, com o consumo fotovoltaico. Esta tendência parece ter se revelado inclusive nos planos das empresas: a tabela 4.5, apesar de defasada (não foi possível atualizarmos estes dados) e montada a partir de fontes diferentes, mostra que embora houvesse uma previsão de elevação substancial do consumo de silício policristalino de grau eletrônico, o mesmo não ocorreria com os planos de investimento (elevação da capacidade de produção), das empresas deste segmento. Ou seja, ainda que se preveja ocupação crescente da capacidade, isto não parece refletir-se nos planos de investimento das empresas.

(1) Para uma escala de produção de 1.000 toneladas, preços vigentes em 1986. As empresas que vem pesquisando a fabricação de células solares são a WACKER HFLIOTRONIC (alemã), a CRYSTAL SYSTEMS Inc (EUA) e a CGE (França). Veja Andrade, Adnei Melges de: op. cit., p. 34-35 e 47.

TABELA 4.5 : TAXA ANUAL DE CRESCIMENTO DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO E DO CONSUMO DE SILÍCIO POLICRISTALINO DE GRAU ELETRÔNICO

Empresas ¹	1984/1983		1985/1984		1986/1985		1987/1986		1988/1987	
	Capac. Prod.	Cons.	Capac. Prod.	Cons.	Capac. Prod.	Cons.	Capac. Prod.	Cons.	Capac. Prod.	Cons.
Wacker	25%	27%	0%	30%	0%	30%	0%	29%	60%	31%
Osaka Titanium	0%	19%	78%	20%	0%	21%	0%	28%	0%	20%
Dynamit Nobel	50%	15%	33%	17%	0%	19%	0%	25%	200%	25%
Texas Instruments	0%	18%	29%	25%	0%	32%	0%	27%	33%	19%
Monsanto	0%	24%	0%	29%	0%	31%	0%	30%	0%	25%
Motorola	0%	8%	0%	31%	0%	24%	0%	24%	0%	15%
Shin-Etsu Handotai	0%	19%	0%	20%	0%	21%	0%	27%	0%	21%
Komatsu	0%	25%	0%	20%	0%	22%	-	23%	-	30%
Pennsilco	0%	20%	0%	33%	0%	33%	0%	40%	0%	29%

NOTAS: 1. apenas empresas produtoras e consumidoras, isto é, integradas.

FONTE: Tabela 3.18 do Capítulo 3.

4.6. Comentários Finais

Embora não haja, até o presente momento, nenhum estudo sistematizado ou consolidado sobre o mercado brasileiro de materiais de grau eletrônico e/ou equipamentos para produção de semicondutores, houve, desde a criação do Laboratório de Materiais de Grau Eletrônico da UNICAMP, em 1974, uma preocupação crescente com respeito a este assunto, subordinada a diretrizes mais gerais relativas à microeletrônica. Assim, o relatório do Laboratório de Microeletrônica da USP (1979), propôs o desenvolvimento da tecnologia de purificação de solventes, ácidos e bases em laboratórios universitários, de forma que se pudesse, posteriormente, transferi-la para pequenas empresas químicas, que deveriam ser qualificadas e cadastradas como fornecedoras do parque nacional de materiais para processamento de semicondutores. Por sua vez, o GEICOM, no Plano Diretor de Semicondutores (1979), propunha não apenas o estímulo às empresas nacionais para produção local de insumos, como também a subvenção de sua produção em institutos de pesquisa e o apoio às iniciativas nacionais de desenvolvimento e produção de equipamentos, tanto para as linhas de produção quanto para os laboratórios de pesquisa. Ao mesmo tempo, nascia o Grupo do Quartzo, encarregado de estudar uma política para o segmento.

Apesar de contraditório - já que conclui que não se pode separar uma política para o quartzo de uma política para o silício, e não propõe qualquer diretriz neste sentido - o relatório do grupo serviu de subsídio para a formulação, coordenada pela SEI, de uma política mais abrangente e coerente.

te - a proposta de Política Nacional do Quartzo e Silício (1985), que foi o primeiro plano específico para o segmento de insumos -, embora ainda restrito ao silício.

Na verdade, o quartzo e o silício passaram a ocupar um espaço preponderante nas propostas relativas aos insumos para a microeletrônica: na Ação Programada para Comunicação, Eletrônica, e Informática do III PBDCT (1980-85), subsidiada pelo relatório do GEICOM (Proposição Final do GT2 - Grupo de Trabalho para Componentes e Insumos), as diretrizes se restringiram ao silício. Apenas no Programa de Microeletrônica/Laboratórios Universitários e no Plano Básico de Pesquisa e Desenvolvimento e Formação de Recursos Humanos para Microeletrônica (que incorpora o anterior), é que os outros insumos foram incluídos e considerados, em geral, de prioridade essencial, enquanto que os derivados do quartzo - exceto o silício de grau eletrônico - foram enquadrados apenas como materiais auxiliares.

Embora em termos de propostas a importância do domínio tecnológico da produção de insumos de grau eletrônico para a indústria microeletrônica viesse surgindo de maneira crescente, esta não se refletiu na formulação da política para o setor. Como já foi ressaltado, o I PLANIN tem diretrizes apenas vagas no que se refere aos insumos. Na verdade, os incentivos à utilização de insumos nacionais trazem vantagens apenas para seus consumidores (as empresas de microeletrônica), não havendo qualquer incentivo à sua produção. Para o II PLANIN, cuja elaboração tem o apoio técnico do NMAT, as propostas iniciais são um pouco mais abrangentes, mas refletem o desconhecimento das reais necessidades de insumos por parte da indús-

tria nacional de microeletrônica.

No que se refere ao quartzo, diagnostica-se que o Brasil vem exportando lascas de primeira a preços de terceira, devido à falta de critérios técnicos na classificação. Há, no entanto, a possibilidade de que esta classificação perca importância, de forma crescente, em particular no que se refere à sua utilização como matéria-prima para a produção de fundidos de quartzo, já que a tecnologia de produção destes "tem mostrado algumas alterações, pois a fusão de produtos de quartzo a partir da decomposição do tetracloreto de silício, ou através de sol-gel, tem se tornado uma realidade a nível industrial. Isto, de certa forma, quase iguala em importância os diversos tipos de lascas" (1).

Com relação aos blocos de quartzo piezoelétrico (cuja extração vem sendo feita de forma anti-econômica e predatória), a maioria das análises mostra que, por um lado, este tipo de material vem perdendo mercado para o quartzo cultivado (sintético) e, por outro, que há grandes estoques formados a nível internacional, em particular nos EUA e no Japão (2).

(1) Braga, Ruben: op. cit., anexo III, p. 3.

(2) Braga, Ruben: op. cit., p. 6 estima, aproximadamente, em 62.600 toneladas o volume dos estoques acumulados no exterior, estimativa esta calculada tomando como base a quantidade exportada de 1965 a 1985 (92.600 toneladas) e o consumo médio anual neste período (1.500 toneladas anuais).

Como vimos, há mercado para o quartzo cultivado e seus derivados, embora as principais empresas fabricantes dos derivados fabriquem também seu próprio quartzo cultivado. A produção deste no Brasil, portanto, também não deve ser encaixada de forma isolada: em primeiro lugar, o quartzo cultivado não serve como "semente" (é mau substituto do quartzo piezoelétrico para esta função) e, em segundo lugar, a variabilidade das especificações dos osciladores não aconselham a estocagem do quartzo cultivado. Sua produção deve ser integrada, portanto, à produção de seus derivados.

Finalmente, com relação ao silício, além dos problemas já citados (tamanho do mercado e escala mínima de produção economicamente viável), resta uma consideração a fazer: embora a nível internacional as maiores produtoras de silício policristalino de grau eletrônico sejam também produtoras de monocristais, e algumas produzam ainda silicones, não parece haver necessidade de uma planta (ou indústria) integrada. Aliás, o quadro de empresas produtoras de materiais de grau eletrônico (1) revela que há algumas pequenas empresas produtoras de substratos de silício mono e policristalino, bem como de fitas, que não são verticalmente integradas. Na verdade, a implantação de uma indústria verticalmente integrada (ou seja, a produção de silício policristalino no Brasil, que substituiria a atual importação) só seria viável a uma escala para a qual não existe (ainda) mercado interno; o mercado externo, por sua vez, parece estar saturado.

(1) Veja no Apêndice ao Capítulo 3.

Assim, a produção deste material não se justifica quer economicamente - pela escala de produção vis-à-vis o tamanho do mercado -, quer mesmo estrategicamente - pelo fácil acesso ao mercado mundial, servido por um grande e variado número de fornecedores. Poderia justificar-se, por um lado, em termos da obtenção do domínio da tecnologia, ressaltando-se o fato de que, de todos os insumos de grau eletrônico, o silício é o que tem especificações técnicas mais estáveis - exceto pela tendência à elevação do tamanho do "wafer", conforme exposto no Capítulo 2 desta dissertação. Por outro, ainda que o mercado de "wafers" seja pequeno - atualmente equivalente a menos de 1% do mercado mundial (1) - tenderá a crescer, caso a difusão passe a ser realizada no país, o que reduziria o gasto com importações de insumos para a indústria de semicondutores. Finalmente, o "wafer" de silício não parece correr o risco de se tornar obsoleto tão cedo como substrato básico da indústria microeletrônica (2).

As proposições que tendem a considerar que as questões relativas ao quartzo devem ser enfrentadas conjuntamente com as questões relativas ao silício de grau eletrônico nos parecem, portanto, mal formuladas. Os comentários que acabamos de tecer ao longo deste capítulo nos levam a concluir que, dos derivados do quartzo, apenas o quartzo fundido (além,

(1) Conforme tabela 4.2 deste capítulo.

(2) Ainda assim, registram-se esforços no sentido de encontrar novos métodos de produção do silício de grau eletrônico, em particular por parte das grandes empresas do setor, como UNION CARBIDE, OSAKA TITANIUM, etc. Veja Andrade, A.M. op. cit., p. 54.

obviamente, do silício policristalino de grau eletrônico) tem relação direta com a indústria do silício para uso em componentes microeletrônicos. Os outros derivados do quartzo atendem a demandas de outras indústrias, e embora possa haver alguma convergência entre elas, esta se dá ainda a nível dos produtos finais. No Capítulo 2 desta dissertação mostramos que a convergência entre as tecnologias da ótica e da microeletrônica (a optoeletrônica) ainda está em estágio bastante inicial, mesmo nos países avançados.

Devemos, no entanto, chamar a atenção para o fato de que a produção de materiais de grau eletrônico em escala piloto é insuficiente para acompanhar o processo de desenvolvimento tecnológico, pois a "cumulatividade" do aprendizado, ou seja, as economias dinâmicas de escala, têm aqui um papel fundamental. Isto significa que não se deve assumir como correta a longo prazo, em termos de política, a "visão mercadológica" a que fizemos referência no início deste capítulo, pois a importância da capacitação tecnológica na produção destes insumos não deve ser contraposta a questões imediatas relativas a custos, escalas de produção e tamanho do mercado. Por outro lado, também não há indicações de escassez destes produtos no mercado internacional, nem mesmo como possíveis atitudes de retaliação à Política Nacional de Informática e Microeletrônica. A questão da produção nacional de insumos não se esgota, portanto, em avaliações que tomem como referência condições de oferta ou necessidade da demanda. Ela é estratégica do ponto de vista da capacitação tecnológica e só faz sentido na medida em que houver uma efetiva produção nacional de componentes microeletrônicos, acompanhada de uma política coordenada de

pesquisa e desenvolvimento da tecnologia microeletrônica.

As dificuldades de avaliação da situação do segmento de insumos no Brasil podem ser exemplificadas pela proposta, elaborada pela Subcoordenação e Comissão Assessora da meta "Capacitação na Obtenção de Insumos Básicos para a Microeletrônica", do Programa de Microeletrônica/Laboratórios Universitários, de se fazer um levantamento quantitativo das necessidades de insumos junto aos laboratórios e empresas consumidoras de materiais. No mesmo sentido, a reunião do subgrupo de insumos e materiais, do grupo de microeletrônica para o II PLANIN, realizada em março de 1988, tinha uma avaliação apenas parcial dos dados sobre consumo efetivo de insumos e materiais em microeletrônica.

Urge que se disponha de uma avaliação específica da situação do segmento de insumos no Brasil, embora se reconheça que esta situação reflete as dificuldades existentes na implementação da Política Nacional de Microeletrônica e o atraso dos cronogramas das empresas nacionais que atuam nesta área. Neste sentido, nenhuma política relativa a insumos terá chance de sucesso enquanto não forem resolvidas as contradições da Política Nacional de Microeletrônica a que fizemos referência no início deste capítulo.

A fim de formular e implementar tal política de forma coerente é essencial que se procure adequar a visão de "curto prazo", relativa a custos, produção e mercado, à visão de "longo prazo", de capacitação e desenvolvimento tecnológico nacionais.

CONCLUSÃO

CONCLUSÃO

O paradigma tecnológico da microeletrônica tem sua evolução caracterizada pela elevação da escala de integração paralelamente à crescente miniaturização e decréscimo de preços, bem como pela crescente confiabilidade, velocidade de processamento, menor consumo de energia e maior capacidade de armazenamento de dados.

A evolução destes "trade-offs", no âmbito da trajetória tecnológica baseada no silício - de maior sucesso e mais difundida - concentra-se sobre a pesquisa e a produção de equipamentos mais sofisticados, de maior resolução litográfica e que permitam automatizar e flexibilizar o processo de produção de componentes microeletrônicos, contribuindo para o aumento do rendimento e da produtividade. É interessante notar que estas pesquisas vêm sendo desenvolvidas principalmente no interior das empresas produtoras de equipamentos, enquanto que as pesquisas relacionadas às novas concepções - ainda no âmbito da trajetória baseada no silício, como os "chips sub-micron" ou o "super-chip" - são desenvolvidas basicamente por empresas produtoras de componentes.

O "chip" de arseneto de gálio, produzido apenas para usos muito especiais, como na indústria aeroespacial e militar, tem melhor desempenho, mas seu alto custo ainda inviabiliza o uso em equipamentos civis. O "chip" 3-D, de tecnologia ainda muito pouco desenvolvida, e que depende tanto da obtenção de materiais adequados (o arseneto de gálio, o silício monocristalino, polisilício ou silício amorfo) quanto de equi-

pamentos mais precisos, mobiliza, em suas pesquisas, empresas dos mais variados segmentos do complexo eletrônico, universidades e instituições de pesquisa, muitas vezes mediados por programas governamentais.

O desenvolvimento dos dispositivos óticos, decorrente, entre outros, da necessidade de aprimorá-los para o uso em telecomunicações com base nas fibras óticas, originou, por sua vez, a concepção da optoeletrônica, que se apresenta como um espaço de complementariedade, ou convergência, entre diferentes paradigmas (ótica e microeletrônica), em cujas pesquisas também participam empresas de vários segmentos do complexo, em conjunto com universidades e instituições de pesquisa, com ênfase, devido ao estágio embrionário deste segmento, na pesquisa em materiais.

Esta ênfase também está presente nas pesquisas relacionadas às outras tecnologias, como as junções Josephson, cujo sucesso depende do desenvolvimento em materiais supercondutores metálicos e cerâmicos, ou do transistor balístico, que por sua vez depende não só do desenvolvimento de novos conceitos e modelos matemáticos mas também do desenvolvimento de materiais já conhecidos (fibras óticas e o arseneto de gálio) e do sucesso na conformação de materiais inteiramente novos (os "lattices"). A produção destes materiais necessita ainda do desenvolvimento de métodos não totalmente dominados.

O que importa ressaltar é que a evolução do paradigma tecnológico da microeletrônica, quer seja através do desenvolvimento da trajetória baseada no silício, quer seja (embora menos provável) através do desenvolvimento das outras trajetórias, é profundamente dependente dos avanços que se possa

alcançar nos segmentos produtores de materiais e de equipamentos de produção. Isto confirma uma de nossas hipóteses iniciais, a de que uma política nacional para o desenvolvimento da informática deveria incentivar a indústria de componentes bem como preocupar-se com a indústria de insumos para estes componentes.

A produção de insumos para a microeletrônica pode ser classificada em duas indústrias distintas: a que produz materiais de grau eletrônico, cujas empresas são oriundas, em sua grande maioria, do setor químico, e a indústria produtora de equipamentos para produção de semicondutores, cujas empresas têm origem bem mais diversificada. De maneira geral, a principal estratégia de concorrência vigente nestas indústrias baseia-se no investimento em pesquisa e desenvolvimento, de forma a poder fornecer ao mercado produtos "de ponta".

Apenas algumas grandes empresas da indústria de equipamentos são verticalizadas; estas produzem equipamentos para uso próprio (produção cativa) e têm posição de liderança na indústria microeletrônica. A grande maioria das empresas, no entanto, produz equipamentos para o mercado, e poucas são especializadas neste tipo de produto. A diversificação em termos de tipos de equipamentos para produção de semicondutores é uma estratégia de concorrência vigente nesta indústria, cuja lógica baseia-se na capacidade de fornecer uma linha completa de produção e, portanto, de manutenção da clientela. Ao mesmo tempo, permite que a integração dos equipamentos sirva como canal de difusão das inovações de forma planejada, administrando a obsolescência tecnológica que é particularmente rápida nesta indústria.

Pode-se dizer que as empresas líderes nesta indústria - que são as mais diversificadas em cada segmento - concentram suas atividades inovadoras em produtos específicos, já que são poucas as empresas com liderança em mais de um tipo de equipamento, mesmo em cada segmento. Isto pode ser visto como resultado de diferentes capacitações tecnológicas, de caráter cumulativo. A hipótese de uma estratégia de repartição do mercado não se confirma, uma vez que, ao menos no segmento de equipamentos de processamento, a concorrência é bastante acirrada.

Podemos considerar, portanto, que os "fatos estilizados" mencionados na introdução a esta dissertação são aplicáveis à indústria de equipamentos: o conhecimento tecnológico é específico em termos de aplicação e tem desenvolvimento cumulativo; as firmas têm diferentes capacitações tecnológicas e tendem a permanecer em áreas próximas às quais já atuam - entendidas, no caso das produtoras cativas, como cadeias tecnológicas, e no caso das restantes, como mercado.

De maneira geral, as inovações não se difundem facilmente para outros setores. As firmas inovadoras são dependentes dos setores usuários - exceto, obviamente, as produtoras cativas, elas próprias usuárias das inovações. Esta dependência, que na verdade é bilateral, não sugere, no entanto, tendência à verticalização ou à integração com os setores usuários. O caráter estratégico da atualização tecnológica, do ponto de vista da indústria usuária (a indústria de semicondutores), lhes garante um mercado sempre disposto a comprar seus produtos, ainda que não haja expectativas de crescimento do mercado de componentes. O processo de verticalização, que se

deu através da fusão ou da compra das empresas produtoras de equipamentos por outras empresas do complexo eletrônico, parece ter-se esgotado depois do início da década de 80, tendo sido substituída por acordos de "joint research" independentes ou através de programas de pesquisas financiados pelo estado.

O enorme investimento exigido e a inexistência de um mercado consumidor destes equipamentos no Brasil com tamanho adequado desaconselham em princípio a implantação de uma indústria de equipamentos. No entanto, a importância da atualização tecnológica neste setor, que viabilize uma indústria competitiva de componentes microeletrônicos - quando esta finalmente se instalar e passar a efetuar o processo de difusão de circuitos integrados - sugere a necessidade de investimentos em pesquisa, capazes de acompanhar o desenvolvimento tecnológico que se dá a nível internacional e a formação de recursos humanos nesta área.

A indústria de materiais de grau eletrônico, por sua vez, é relativamente desconcentrada e pouco integrada com a indústria de semicondutores. É importante ressaltar, no entanto, que as empresas que produzem silício de grau eletrônico e componentes são líderes na indústria de componentes, do mesmo modo que as que produzem materiais de grau eletrônico e equipamentos eletrônicos são líderes na indústria eletrônica.

Em contraste com a indústria de equipamentos, a estratégia de concorrência baseia-se na especialização em segmentos (materiais para substratos, gases, líquidos, etc...), por motivos não apenas técnicos (produtos que pertencem à mesma cadeia produtiva) mas porque a lógica da diversificação dos

riscos se dá num âmbito mais geral, o dos "novos materiais" e, em alguns casos, da química fina ou especialidades químicas ou mesmo biotecnologia. Neste sentido, a produção de materiais de grau eletrônico representa, do ponto de vista das firmas, diversificação de suas atividades e riscos.

Esta especialização, que é acompanhada pela diversificação no interior de cada segmento, explica-se ainda pelo fato de que a obsolescência tecnológica dos materiais de grau eletrônico é bem menos acentuada que a dos equipamentos e, neste sentido, inovações ou aprimoramentos de processos de produção de determinados materiais não implicam necessariamente a obsolescência de materiais complementares (de outros segmentos da indústria de materiais de grau eletrônico), mas permitem a criação de outros "novos materiais", para a indústria microeletrônica ou outras. Isto explica, por um lado, a diversificação no interior de cada segmento e por outro, por que a diversificação em vários segmentos deixa de ter o caráter estratégico que assume para a indústria de equipamentos.

Também na indústria de materiais de grau eletrônico os "fatos estilizados" anteriormente mencionados têm validade: o conhecimento tecnológico é específico em termos de aplicação, há concentração das atividades inovadoras específicas a produtos e processos e o conhecimento tecnológico tem desenvolvimento cumulativo. De maneira geral, as firmas têm diferentes capacitações tecnológicas (o que também explica a relativa especialização por segmento) e tendem a permanecer em áreas próximas àquelas em que já atuam - entendidas principalmente como "cadeias produtivas", dentro de cada segmento, podendo atender, genericamente, diferentes mercados.

Pode-se dizer ainda que as firmas são produtoras de inovações, principalmente de processo. Os produtos dirigidos à indústria microeletrônica têm características físico-químicas relativamente estáveis, exceto pelo grau de pureza; as inovações de produto permitem, por sua vez, inovações no processo de produção de semicondutores. A potencialidade de difusão ou de aproveitamento das inovações na indústria de materiais de grau eletrônico por outras indústrias ou mais freqüentemente, para outros usos é maior que na de equipamentos, embora sua concretização exija modificações - que podem ser substanciais - nas características dos materiais.

Exceto para as empresas verticalmente integradas, há mútua dependência entre os produtores de inovações e seus usuários; no entanto, da mesma forma que na indústria de equipamentos, isto não implica tendência à verticalização entre produtores de materiais de grau eletrônico, não apenas por motivos técnicos relacionados às diferenças de processos produtivos entre as indústrias, mas também porque a grande quantidade de fornecedores especializados, a oferta abundante e a relativamente lenta obsolescência tecnológica destes insumos tornam esta estratégia pouco atrativa.

Podemos assim concluir, do ponto de vista da estrutura das indústrias produtoras de equipamentos de produção de semicondutores e de materiais de grau eletrônico, a nível internacional, bem como das estratégias de concorrência das empresas que as compõem, que é perfeitamente possível realizar a etapa de difusão de circuitos integrados no Brasil, sem que a indústria de semicondutores seja verticalizada a montante. Em outras palavras, a não integração com a produção de seus insumos não é nem tende a se tornar um constrangimento para seu desenvolvimento.

No entanto, a competitividade da indústria de semicondutores depende, em grande parte, de sua capacidade de manter-se atualizada tecnologicamente - além, é óbvio, de escalas de produção adequadas para fazer frente à tendência, permanente, de redução de custos e preços a nível internacional. Isso implica, em primeiro lugar, ter acesso aos equipamentos e materiais. Esta condição, pelo que foi exposto, parece estar garantida ao menos a curto e médio prazos, já que não se verifica tendência à produção cativa destes insumos a nível internacional. Em segundo lugar, a capacidade de atualização tecnológica depende da capacidade de acompanhar o desenvolvimento tecnológico que se dá em ambas as indústrias, ou seja, do acesso às inovações, para o que é necessário que se desenvolvam no país pesquisas nestas áreas.

No Brasil, a questão dos insumos nunca foi tratada adequadamente, o que se por um lado reflete sua disponibilidade no mercado internacional em quantidade e qualidade adequadas às necessidades nacionais, por outro decorre do atraso no cronograma estabelecido pela Política Nacional de Microeletrônica.

As únicas referências encontradas quanto aos insumos para a microeletrônica no Brasil, oriundas principalmente dos setores ligados à pesquisa científica e tecnológica, tratam do silício, embora tenha havido esforços de desenvolvimento, em laboratórios universitários, de outros materiais. Não há nenhum estudo sistematizado sobre o mercado brasileiro de materiais de grau eletrônico, embora haja a respeito uma preocupação crescente (ainda insuficiente), hoje centralizada principalmente no NMAT - Núcleo de Estudos e Plane-

ramento em Novos Materiais, do Ministério de Ciência e Tecnologia.

A importância do silício de grau eletrônico vem sendo encarada em associação ao quartzo, que é sua matéria-prima básica. Na verdade, dos derivados do quartzo apenas o silício de grau eletrônico e o quartzo fundido utilizado na produção de cadinhos para obtenção de silício monocristalino de grau eletrônico, navetas, carregadores e sistemas auxiliares de limpeza no processamento de dispositivos semicondutores, além do revestimento dos fornos de difusão, podem ser vistos como diretamente relacionados à questão dos insumos para a microeletrônica. Ressaltou-se, no entanto, que o tamanho do mercado brasileiro - 10 toneladas anuais, medidos pelo consumo de material "embutido" nos dispositivos semicondutores prontos e importados - é insuficiente para a produção em escalas economicamente viáveis, que exigem uma planta mínima de 100 toneladas anuais. Estes dados são agravados pelos sinais de saturação do mercado internacional.

Pode-se assim concluir que, embora não haja motivos econômicos ou estratégicos de preocupação quanto a assegurar o fornecimento desse insumo, sua produção no Brasil pode vir a justificar-se em termos de obtenção de tecnologia e formação de recursos humanos, especialmente porque a matéria-prima básica - o quartzo - é abundante no país, sua tecnologia tem especificações relativamente estáveis e há previsões de que o silício deverá permanecer como substrato fundamental do paradigma microeletrônico, por um bom período de tempo.

Finalmente, chamamos a atenção para o fato de que a produção em escala piloto é insuficiente para dar conta da

• característica cumulativa do aprendizado, que se destacou como elemento importante no processo de evolução desta tecnologia. Estas conclusões, que são generalizáveis para todos os materiais de grau eletrônico (exceto pela abundância da matéria-prima), exigem que se avalie este segmento por parâmetros de maior alcance do que aqueles que se referem meramente a condições de oferta ou às necessidades da demanda.

Embora seja evidente que qualquer política de insumos para a microeletrônica somente poderá viabilizar-se uma vez superadas as principais contradições da Política Nacional de Microeletrônica, queremos ressaltar que é preciso compatibilizar e adequar os aspectos relativos a custos, produção e mercado, que em princípio poderiam inviabilizar esta indústria, à necessidade de capacitação e desenvolvimento tecnológicos nacionais, que têm por condição necessária - embora insuficiente - o aprendizado na produção.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ANDRADE, A.M. - Considerações Sobre o Silício e o Quartzo de Alta Pureza no Brasil, preparado para a Comissão de Novos Materiais do Ministério de Ciência e Tecnologia, novembro 1986, mimeo.
- ARAÚJO Jr., J.T. - Tecnologia, Concorrência e Mudança Estrutural: A Experiência Brasileira Recente, IPEA/INPES, 1985.
- BRAGA, R. - Subsídios para uma Política Nacional do Quartzo e do Silício, CETEC, dezembro 1986, mimeo.
- CALDAS, G., MALLET, R. e HELENA, S. - "Como se faz um 'chip'" in: Revista INFO, nº 3, abril 1983, p. 47-53.
- CAMPOS FILHO, M.P. - "No Grau Eletrônico, a Base Estratégica dos Componentes", in Dados e Idéias, junho/julho 1978, p. 24-32.
- _____ - "O Insumo Estratégico da Informática", in: Dados e Idéias, dezembro 1980, p. 59-65.
- _____ - "Silício Policristalino para Células Solares", in: Dados e Idéias, julho 1981.
- DOSI, G. - Technical Change and Survival: Europe's Semiconductor Industry, Sussex European Papers nº 9, Sussex European Research Centre, University of Sussex, 1981.
- _____ - "Technological Paradigms and Technological Trajectories - A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change", Research Policy 11, 1982, p. 147-162.

- DOSI, G. - Technical Change and Industrial Transformation - The Theory and an Application to the Semiconductor Industry, Londres, Macmillan Press, 1984.
- ERBER, F.S. - O "Complexo Eletrônico" - Estrutura, Evolução Histórica e Padrão de Competição, IEI/UFRJ, 1983.
- ERNST, D. - Restructuring World Industry in a Period of Crisis - The Role of Innovation (An Analysis of Recent Developments in the Semiconductor Industry), prepared by the Global and Conceptual Studies Branch Division for Industrial Studies, UNIDO Working Papers on Structural Changes, UNIDO, dezembro 1981.
- FAIBIS, L. - Les Entreprises de Chimie Fine et de Spécialités Dans le Monde, Collection "Analyses de Secteurs", 3ème trimestre 1985.
- FIRME, E. - Sumário Mineral, 1983.
- FREEMAN, C. - The Economics of Industrial Innovation, Penguin, 1974.
- FREEMAN, C., CLARK, J. e SOETE, L. - Unemployment and Technical Innovation - A Study of Long Waves and Economic Development, Londres, Francis Pinter, 1982.
- GAM - Subsídios para a Formulação de uma Política Nacional de Microeletrônica, 06/11/84, mimeo.
- GAM - Contribuição para a Definição de um Plano Básico para as Atividades de Pesquisa, Desenvolvimento e Formação de Recursos Humanos em Microeletrônica, s.d., mimeo.

GEICOM - Plano Diretor de Semicondutores, 1979, mimeo.

GEICOM - Ação Programada do III PBDCT - Proposição do GT2
(Componentes e Insumos) - Relatório Final, 1982, mimeo.

GEICOM/DIGIBRÁS - Componentes Semicondutores, junho 1978, mimeo.

GRUPO DO QUARTZO - Relatório Final, dezembro 1984, mimeo.

HELENA, S. - "A Indústria de Computadores: Evolução das Decisões Governamentais", Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, 14(4): 73-109, out/dez 1980.

LEAL, João Paulo Garcia: Microeletrônica: Estratégias de Verticalização das Empresas Nacionais. Monografia de Conclusão de Curso de Graduação, Instituto de Economia/Universidade Estadual de Campinas, dezembro 1988, mimeo.

LEMONS, C. - "Quartzo e Silício", Inf. INT., v. 19, nº 38, jan/abr 1987, p. 10-12.

LME/EPUSP - A Microeletrônica no Brasil, São Paulo, fevereiro 1979, mimeo.

MACKNIGHT, G.W. - A Indústria de Semicondutores Eletrônicos - Brasil, Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1982, mimeo.

MCT - O Desafio dos Novos Materiais - Programa Brasileiro
(Programa Bienal de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Novos Materiais, elaborado por Comissão Especial do Ministério de Ciência e Tecnologia - Oportunidades Imediatas de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Novos Materiais), Brasília, 1987.

MENDES, Maria Isabel e BORELLI, Maria Hanai: "The Semiconductor Policy and ICs Design in Brasil", in: BRASIL-MCT/CNPq: Electronics Industry in Brazil - Current Status, Perspectives and Policy Options. Report for the OECD Development Centre's Project on Technological Change and the Worldwide Restructuring of the electronics Industry, coordinated by Clélia Piragibe, november 1988, mimeo.

OECD - The Semiconductor Industry: Trade Related Issues, 1985.

PAVITT, - "Chips" and "Trajectories": How Will the Semiconductor Influence the Sources and Directions of Technical Change? (draft chapter prepared for: Technology and the Human Prospect, R. MacLeod (eds), to be published by Francis Pinter), SPRU/Sussex, março 1984, mimeo.

_____ - "Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory", Research Policy, 13, 1984, p. 343-373.

QUEIROZ, S. et alii - Novos Materiais: Subsídios para uma Estratégia de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Relatório de Pesquisa do Convênio MCT/UNICAMP-NPCT, Campinas, Núcleo de Política Científica e Tecnológica, Universidade Estadual de Campinas, 1987, mimeo.

RICHARD, N. e WINTER, S. - An Evolutionary Theory of Economic Change, Harvard University Press, 1982.

_____ - "In Search of a Useful Theory of Innovation", Research Policy, 6, 1977, p. 36-76.

ROSENBERG, N. - Perspectives on Technology, Cambridge University Press, 1976.

ROSENTHAL, D. - Microelectronics and Industrial Policies in Developing Countries: the Case of the Semiconductor Industry in Brazil, thesis submitted for the degree of Ph.D. in the University of London, University College of London, july 1987, mimeo.

SEI - Plano Nacional do Quartzo, Brasília, s.d., mimeo.

SEI - Relatório Final da Comissão Especial de Microeletrônica, Subsecretaria de Atividades Estratégicas, Comissão Especial de Microeletrônica, Brasília, 1980, mimeo.

SEQUEDA, F.O. - Basic Technology: An Overview of the Fabrication of Integrated Circuits, trabalho apresentado na III Oficina Brasileira de Microeletrônica, LED/FEC/UNICAMP Campinas, 1981, mimeo.

SILVA, A.L.G. - A Indústria de Componentes Eletrônicos Semicondutores: Padrão de Concorrência Internacional e Inserção no Brasil, Dissertação de Mestrado, Instituto de Economia da UNICAMP, Campinas, 1985, mimeo.

_____ - A Indústria Brasileira de Componentes Eletrônicos - Estágio Atual e Perspectivas - Relatório de Pesquisa do Convênio MIC-STI/UNICAMP-IE/FUBJ (UFRJ-IEI), Campinas, Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, 1986, mimeo.

SOETE, L. - Sectoral and Technological Taxonomies: An 'Integrative' Analysis Based on Innovation Statistics, preparado para a OECD Workshop on Innovation Statistics, Paris, 8-9 dezembro 1986, mimeo.

TELEBRÁS - Programa de Eletrônica e Dispositivos, 1974.

UNCTC - Transnational Corporations in the International Semiconductor Industry, 1986.

UNICAMP - Programa de Materiais de Grau Eletrônico (MGE), Convênio UNICAMP/TELEBRÁS/FTPET/ITCJ, Faculdade de Engenharia da UNICAMP, Campinas, s.d.

UNICAMP - Programa MGE (Programa de Pesquisa e Desenvolvimento e Formação de Recursos Humanos na Tecnologia dos Materiais de Grau Eletrônico, Relatório do 1º semestre 1981, Faculdade de Engenharia da UNICAMP, Campinas, 1981.

UNIDO - Survey of Government Policies in Informatics, abril 1985.

U.S. CONGRESS - OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT (OTA) - International Competitiveness in Electronics, Washington, novembro 1983.

VOS, Dirk de - Governments and Microelectronics - The European Experience, Science Council of Canadá, março 1983.

WAJNBERG, S. - The Brazilian Microelectronics and its Relationship with the Communications Industry - Possibility of International Cooperation, UNIDO, maio 1985.

ZUFFO, J.A. - "O que falta para uma Política Adequada de Microeletrônica para o Brasil?" in Dados e Idéias, novembro 1985, p. 61-63.

_____ - "O Presente e o Futuro das Tecnologias de Microeletrônica", in Revista Politécnica, São Paulo, USP, set/out 1986, nº 193, p. 6-11.

Periódicos Consultados

Business Week (BW)

Chemical Engineering

Dados e Idéias (DI)

Data News (DN)

Electronics

Electronic Business

Fortune

INFO

Informática Hoje

Integrated Circuit Engineering Corporation (ICE)

IPESI-EE

Jornal da Microeletrônica

Microelectronics Monitor

Processing

Revista Nacional de Telemática

Scientific American

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Instituto de Economia

MICROELETRÔNICA: CONSIDERAÇÕES SOBRE A NECESSIDADE E
VIABILIDADE DA INTEGRAÇÃO VERTICAL NO BRASIL

Claudia Heller

Dissertação de Mestrado em Economia
apresentada ao Instituto de Economia
da Universidade Estadual de Campi-
nas, sob a orientação do Professor
Mario Luiz Possas.

Campinas, 1989

H367m
v.2
10741/BC

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

Volume 2

Conteúdo

ANEXO TÉCNICO

APÊNDICE AO CAPÍTULO 3

- . Quadro das Empresas Produtoras de Equipamentos para
Produção de Semicondutores
- . Quadro das Empresas Produtoras de Materiais de Grau
Eletrônico

APÊNDICE AO CAPÍTULO 4

- . Síntese do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento e
Formação de Recursos Humanos na Tecnologia dos Mater
iais de Grau Eletrônico (1977-1989).....
- . Plano Nacional de Microeletrônica (1979-1984).....
- . Plano Diretor de Semicondutores (1980-1982).....
- . Quadro-Resumo das Entidades Participantes do Program
a de Microeletrônica/Laboratórios Universitários e
do Plano Básico de Pesquisa e Desenvolvimento e Form
ação de Recursos Humanos em Microeletrônica
- . Programa de Microeletrônica/Laboratórios Universi-
tários - Quadro-Resumo dos Recursos (Triênio 1985-
1987) do Governo

ANEXO TÉCNICO

ANEXO TÉCNICO

I. Descrição do processo de produção de circuitos integrados	1
- Figura: Seqüência do processo de produção de circuitos integrados	6
II. Equipamentos usados nas principais etapas do processo de produção de circuitos integrados	7
- Figura: Sistemas Litográficos	15
III. Etapas do processo de preparação de materiais de grau eletrônico (MGE)	16
IV. Classificação geral dos materiais de grau eletrônico	17
- Classificação dos MGE segundo a natureza da aplicação	18
- Classificação dos MGE segundo a natureza física e estrutural	19
V. Silício de grau eletrônico: etapas de produção ..	22
- Fluxograma dos principais processos de obtenção de silício de grau eletrônico	23
- Fluxograma dos processos de obtenção de lâminas de silício monocristalino ("wafers")	24
- Fluxograma global da produção de silício semicondutor	25
VI. Quartzo: emprego do quartzo	26
- Matriz do quartzo	27
- Uso do quartzo nas indústrias	28

VII. Silício de grau solar: fluxograma do processo de obtenção	29
VIII. Fibra ótica: processo de obtenção	30
IX. Componentes eletrônicos: classificação	32
- Principais circuitos integrados	33
X. Figuras	
1. Evolução da tecnologia dos dispositivos semi- condutores	35
2. Principais tendências da fotolitografia	36
3. Efeitos do tamanho do "chip" e da densidade dos defeitos	37
XI. Gráficos	
1. Correspondência entre a espessura das linhas e escala de integração	38
2. Simplificação da memória	39
3. Evolução do diâmetro das lâminas de silício ("wafers") desde o início da década de 60 ...	40
4. Ganho percentual de área em consequência do aumento do diâmetro do "wafer"	41
XII. Preço do Quartzo e do Silício	42

I. Descrição do Processo de Produção de Circuitos Integrados

A primeira de todas as etapas é o projeto do circuito, que especifica as características funcionais do componente, bem como os passos de processamento necessários para sua produção. Esta etapa envolve a utilização de mão-de-obra altamente especializada e de alto custo. Do ponto de vista do projeto, é possível definir três tipos de circuitos integrados, segundo o grau de padronização e etapa de acabamento: os circuitos padronizados, ou de prateleira, normalmente produzidos em larga escala projetados em todas as etapas pelo produtor; os circuitos sob encomenda, projetados para atender a aplicações extremamente específicas, normalmente definidas pelo usuário do circuito; e os semi-padronizados que são deixados semi-acabados para serem terminados segundo as especificações dos clientes. Os equipamentos mais utilizados nesta etapa são os computadores gráficos, também chamados PAC (projeto assistido por computador), ou CAD ("computer-aided-design"), que calculam o tamanho e a localização de cada elemento do circuito e simulam suas características operacionais.

Além do projeto, o processo de produção propriamente dito necessita de duas etapas preparatórias: a fabricação de máscaras, que consiste no desenho do circuito para cada uma das etapas de processamento e delineam o padrão de condutibilidade ou isolação de cada área do circuito, em cada camada. As máscaras são utilizadas no processo fotolitográfico e são feitas de um material fotosensível. A outra etapa preparatória é a que prepara a lâmina de silício e é subdividida em duas fases:

a primeira, denominada de crescimento epitaxial, consiste num processo realizado sobre a lâmina de silício, permitindo que se obtenha uma camada de cristal com distribuição constante de impurezas e que tenha a mesma orientação cristalina do material que lhe serve de substrato. A segunda fase, denominada oxidação, consiste na deposição de uma camada de óxido de silício sobre a lâmina, levada a efeito num tubo de quartzo colocado num forno a alta temperatura. O forno de oxidação e o processo são os mesmos tanto para a oxidação úmida (que utiliza uma mistura de nitrogênio, oxigênio e vapor de água) quanto para a oxidação seca (cujo único reagente é o oxigênio).

O processamento dos "chips" inicia-se com a gravação, ou litografia, que é a etapa mais importante e requer o uso de equipamentos muito sofisticados e produtos químicos de pureza elevadíssima. Divide-se em várias fases, que são repetidas algumas vezes, até que todas as camadas estejam gravadas. Para a litografia, reveste-se o "wafer" com uma camada de material polimérico sensível à luz, que é cozida num forno a alta temperatura para endurecer - este material deve sofrer uma modificação estrutural ao ser iluminado por luz ultravioleta de forma que, ao ser exposto à luz e lavado com um solvente específico, dissolva-se seletivamente em relação à superfície não iluminada. Em seguida, expõe-se o "wafer" à luz ultravioleta, através das máscaras previamente preparadas, de forma que o padrão da máscara se revele sobre o "wafer". Os equipamentos utilizados neste processo são os chamados equipamentos litográficos óticos (alinhadores por contato, alinhadores por projeção ou "steppers"); há equipamentos

mais sofisticados e mais caros, como o equipamento a raio X ou por feixe de elétrons ou ainda o equipamento por feixe de íons.

Em seguida, a lâmina é colocada em um banho de ácido para a remoção, por corrosão ("etch"), das áreas microscópicas que estiverem desprotegidas pelo revestimento fotosensível e que foram projetadas através das máscaras. O processo de corrosão pode ser úmido (quando utiliza um ácido) ou seco (quando utiliza gases ionizados), e neste caso pode ser um processo químico (por plasma reativo), físico (feixe de íons ou corrosão por pulverização (em inglês: "sputter etching") ou ainda físico-químico (ion reativo).

Depois da retirada do fotoresiste coloca-se a lâmina em contato com uma atmosfera de impurezas que irão penetrar no silício. Este processo, denominado difusão ou dopagem, deve ser controlado de tal forma que apenas as partes descobertas contenham átomos de impurezas. A difusão ocorre em duas fases: na primeira, de deposição, o elemento dopante é depositado sobre a superfície do silício, de modo que ela fique saturada (ou seja, até que a concentração superficial atinja o valor da solubilidade sólida do dopante no silício); em seguida vem a fase da penetração, em que o elemento dopante depositado é difundido para dentro do silício, ao mesmo tempo em que se oxida a superfície para permitir a execução posterior da etapa de fotogração seguinte (da nova camada).

O processo de difusão pode ser entendido como processo de migração ou difusão de átomos (de boro ou fósforo) a altas temperaturas, alterando as características elétricas do silício nas áreas onde foram difundidos. Neste processo, é

preciso controlar o tempo, a temperatura e a concentração de impurezas, para garantir as propriedades elétricas corretas.

A difusão também pode ser feita através de implantação iônica, que consiste na obtenção de um feixe de íons do elemento que se deseja introduzir no silício como impureza, acelerá-los e fazê-los incidir sobre a lâmina de silício. Sendo alta a energia dos íons incidentes, eles penetram no material até a profundidade correspondente a um número de impactos com os átomos da rede cristalina do silício, suficiente para que ele perca toda a energia. Nestes impactos ocorre o deslocamento dos átomos de silício, criando-se defeitos na rede cristalina. Estes defeitos deverão ser reduzidos numa etapa posterior. A grande vantagem deste processo é que ele pode ser realizado à temperatura ambiente, o que diminui a probabilidade de danificar o "wafer". O processo de implantação iônica exige um equipamento diferente dos reatores de deposição, baseado numa fonte de íons.

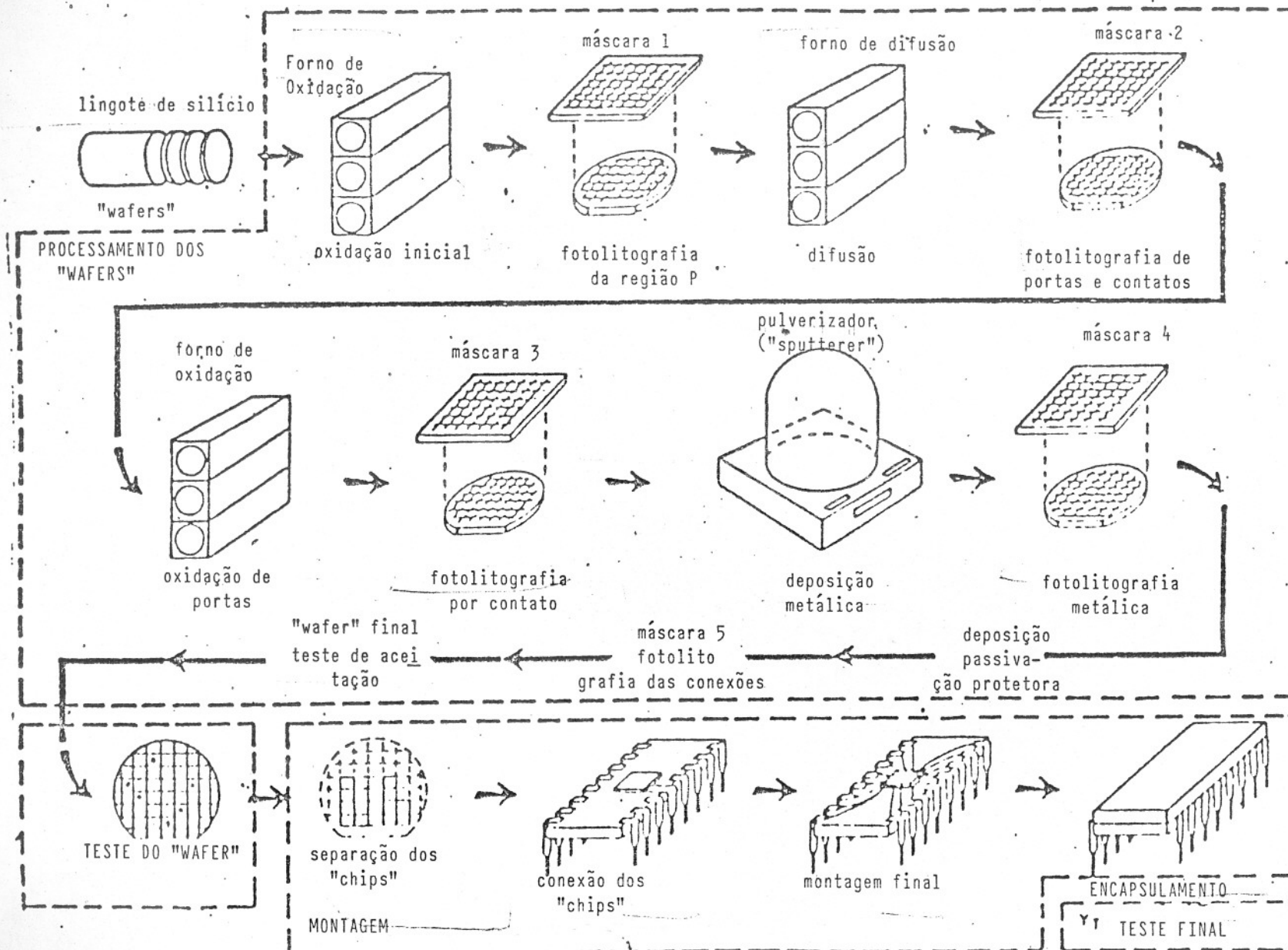
Os processos de litografia e difusão são repetidos várias vezes, em seqüência, até que se complete as estruturas dos componentes desejados. Quando todos os dispositivos estão gravados, deve-se ligá-los ("wiring") para que o circuito funcione. Esta ligação é feita através da deposição de um intrincado padrão de material condutor (camadas de filmes condutores), que podem ser de alumínio, ligas de cobre-alumínio ou ouro, e são depositados por evaporação a vácuo ou por pulverização catódica. Esta etapa é chamada de metalização.

Finalmente, depois da camada metalizada de interconexão, deposita-se mais uma camada protetora e isoladora, que é a última etapa de processamento antes dos testes e en-

capsulamento dos circuitos. Esta camada de passivação é depositada por oxidação térmica, deposição química a vapor ou pulverização ("sputtering").

Um único "wafer" contém vários "chips", e é preciso separá-los e montá-los em suportes providos de terminais para que possam ser manipulados. Os suportes ou cápsulas são feitos de vários formatos e materiais, dependendo do tipo de aplicação desejada para o circuito. Existem cápsulas metálicas, cerâmicas e plásticas, com número de contatos variável com a complexidade do circuito a ser montado. O processo de montagem consiste basicamente em soldar-se o "chip" sobre um terminal ("die-bonding") e depois soldar os fios entre os terminais e os terminais de montagem ("wire-bonding"). A montagem final, ou encapsulamento, serve para proteger os micro-circuitos e os fios de ligação.

SEQUÊNCIA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CIRCUITOS INTEGRADOS



FONTE: Sequeda, Frederico O.: Basic Technology: An Overview of the Fabrication of Integrated Circuits, Campinas, mimeo, 1981 (trabalho apresentado na III Oficina Brasileira de Microeletrônica, LED/FEC/UNICAMP).

II. Equipamentos Usados nas Principais Etapas do Processo de Produção de Circuitos Integrados

1. Para preparação do "wafer"
 - 1.1. para crescimento epitaxial
 - 1.2. para oxidação do silício
2. Equipamentos Litográficos
 - 2.1. fotoalinhadores
 - 2.1.1. por contato
 - 2.1.2. por projeção
 - 2.1.2.1. "scanner"
 - 2.1.2.2. "stepper"
 - 2.2. por Raio X
 - 2.3. por feixe de elétrons
 - 2.4. por feixe de íons
3. Corrosão
4. Difusão
5. Para deposição de metais
6. Para separar os "chips" do "wafer"
7. Montagem

1. Para Preparação do "Wafer"

1.1. Para Crescimento Epitaxial

O crescimento epitaxial é uma reação de tetracloreto de silício com hidrogênio nas imediações da superfície da lâmina de silício monocristalino aquecida a alta temperatura, de forma que o silício se deposite sobre a superfície, continuando a estrutura cristalina da lâmina inicial; esta técnica permite dopar a camada em crescimento, desde que se misture ao gás reagente um composto do dopante que se decomponha na temperatura da reação. Para isso, utiliza-se um reator epitaxial, que é constituído de um sistema de alimentação de gases puros de fluxo controlado em ligação a uma câmara de reação de quartzo.

1.2. Para a Oxidação do Silício

Para a oxidação do silício, (exposição da lâmina de silício a uma atmosfera oxidante para a criação de uma camada de silício cuja espessura depende da temperatura e do tempo de reação), utilizam-se reatores constituídos por um forno tubular com temperatura controlada e um sistema de alimentação de gases reagentes filtrados e com fluxo bem controlado. O reator tem válvulas que permitem a seleção do proces-

so (oxidação úmida, seca ou mista) e em alguns casos permite a passagem de um fluxo de ácido clorídrico anidro antes do início da oxidação, para a obtenção de uma superfície mais limpa.

2. Equipamentos Litográficos

2.1. Fotoalinhadores

Os fotoalinhadores projetam as imagens dos elementos eletrônicos sobre a superfície dos "wafers".

2.1.1. Fotoalinhadores por contato

Os fotoalinhadores por contato são equipamentos óticos que utilizam máscaras em contato com a superfície do "wafer" para produzir os padrões dos circuitos. Desde o início dos anos 80 são usados principalmente para a produção de semicondutores discretos.

2.1.2. Fotoalinhadores por projeção

Os fotoalinhadores por projeção são equipamentos

óticos; as máscaras não entram em contato direto com a superfície do "wafer".

2.1.2.1. "Scanners"

Estes equipamentos utilizam um feixe de luz móvel para criar uma imagem sobre todo o "wafer"; não permitem realinhamentos no decorrer do processo, e a mínima resolução alcançada é de duas micra, embora a utilização de luz ultravioleta possa reduzir o nível de resolução a 1 micron.

2.1.2.2. "Steppers"

Com estes equipamentos, cada padrão de circuito para cada "chip", é impresso separadamente na superfície do "wafer", ou seja, ao invés de expor o "wafer" todo de uma vez, o equipamento expõe um "chip" de cada vez, o que permite ajustar o foco e portanto reduzir o nível de resolução, aumentando o rendimento; a exposição é do tipo repetitiva ("step-and-repeat"), não compatível com luz ultravioleta. A resolução pode chegar a 0,7 micra.

2.2. Litografia por raio X

Ainda em estágio de desenvolvimento, apresenta problemas de alinhamento e distorção, além de problemas na fabricação de máscaras. Estes equipamentos imprimem imagens inteiras fotograficamente sobre o "wafer" usando raios X ao invés de luz ultra-violeta, para gravar os circuitos. As máscaras utilizadas são produzidas pela tecnologia por feixe de elétrons. O equipamento por raio X é mais rápido que o processo que utiliza feixe de elétrons e alcança resolução de 0,1 micra.

2.3. Litografia por Feixe de Elétrons

Imprime os circuitos sobre a superfície do "wafer", guiado por um padrão armazenado na memória de um computador. Vem sendo usado desde o início da década de 80 para "chips" complexos, reduzindo o tempo de produção de 20 horas para 60 minutos. Está limitado para uso em aplicações muito especializadas, pois "escreve" cada linha separadamente, podendo produzir "chips" diferentes num mesmo "wafer". Tem rendimento ("yield") superior ao equipamento por raio X, usando o próprio feixe eletrônico para escrever sobre a superfície do "wafer".

2.4. Litografia por Feixe de Íons

Imprime os circuitos usando um fino feixe de íons (átomos com carga), capaz de produzir linhas de até 0,1 micra.

3. Corrosão

Até 1977, o único processo de corrosão disponível era o de corrosão úmida, que utiliza banhos de ácido. A partir de 1977 desenvolveu-se um processo de corrosão a seco, conhecido também como corrosão por plasma, que consiste numa descarga elétrica de alta frequência a baixa pressão numa atmosfera de gás-freon ("carbon tetrafluoride"). Neste processo o freon se "quebra" em íons e radicias livres, que dissolvem o filme mas não reagem com a máscara de fotoresiste, permitindo maior controle de contaminação e portanto rendimentos e níveis de resolução mais altos. Os subprodutos deste processo são menos corrosivos que no processo úmido.

4. Difusão

Há duas técnicas básicas de difusão ("doping"): a difusão propriamente dita é a implantação iônica.

No processo de difusão, os "wafers" são aquecidos a altas temperaturas, nas quais as "impurezas" penetram o cristal. Estas impurezas penetram mais rapidamente o silício do que o dióxido de silício, de forma que o "wafer" se torna "dopado" ali onde o revestimento de dióxido de silício foi corroído pelo processo anterior de corrosão.

No processo de implantação iônica, a "dopagem" pode ser feita à temperatura ambiente. Os átomos ionizados de impurezas são acelerados através de um campo elétrico e direcionados para dentro do cristal de silício. Este processo permite maior controle de "dopagem" e a introdução de impurezas através de um filme fino de óxido, sendo possível produzir vários tipos de transistores MOS no mesmo wafer. No futuro, isso permitirá produção em escala, mesmo que os circuitos individuais a serem produzidos sejam diferentes.

A outra vantagem do processo de implantação iônica reside no fato de que este processo serve tanto para dopantes difíceis de usar a altas temperaturas (como o arsênio) quanto para dopantes que necessitam temperaturas tão altas que provocam o risco de quebrar o "wafer".

Os reatores de deposição de impurezas e os fornos de difusão são do mesmo tipo que os utilizados para a oxidação. A diferença básica está na mistura de reagentes que se utiliza e a temperatura e pressão da reação.

5. Para Deposição

Os equipamentos para deposição são denominados pulverizadores ("sputterers") e tem a função de depositar finas coberturas de metal que conectam os elementos eletrônicos nas diferentes camadas.

O princípio da deposição pode ser físico (deposição física a vapor) ou química (deposição química a vapor de baixa pressão ou deposição química a vapor por plasma ativo).

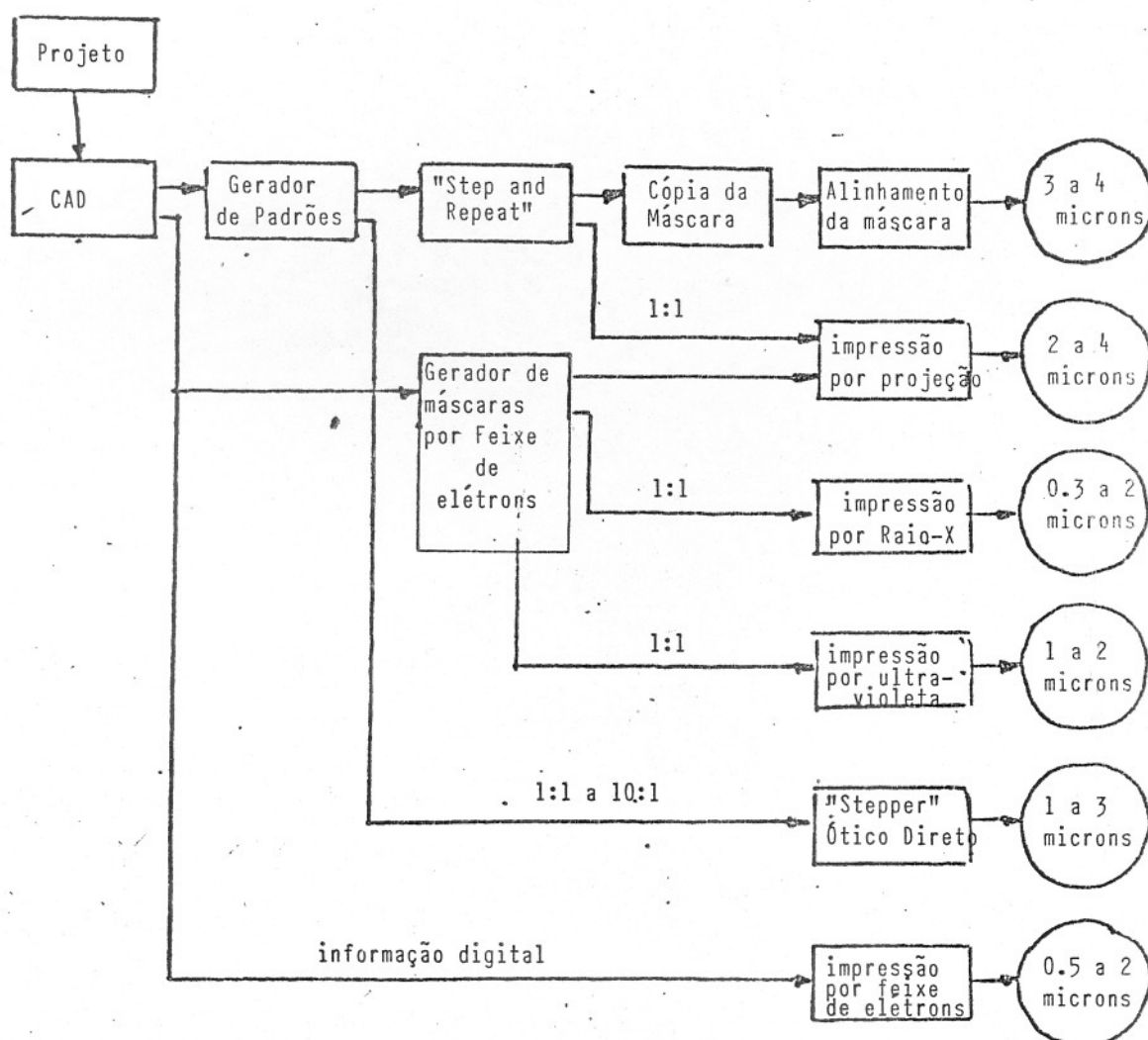
6. Para Separação dos "Wafers"

Há dois tipos de equipamentos: serras de diamante ou equipamento de corte a laser.

7. Montagem

As duas principais operações de montagem, que tradicionalmente eram intensivas em trabalho e estão, atualmente, sendo crescentemente automatizadas são as de "die-attach" e "wire-bonding". Este último pode ser totalmente manual, semi-automático, automático com operador ou automático com reconhecimento de padrão.

SISTEMAS LITOGRÁFICOS



III. Etapas do Processo de Preparação dos Materiais de Grau Eletrônico - MGE

1. Obtenção

Processo que visa partir de uma determinada matéria-prima e chegar a um material impuro, ou apenas pré-purificado, que seja adequado à etapa seguinte de purificação propriamente dita.

2. Purificação

É a etapa mais importante, em que o material fica definitivamente caracterizado como MGE, estando então apenas sujeito a uma eventual etapa final de conformação.

3. Conformação

Processo que coloca o MGE na forma final conveniente para seu uso (fios capilares com diâmetro da ordem de micra, ou monocristal perfeito, geralmente cilíndrico, etc...). A conformação depende do tipo e da destinação final do MGE em questão.

IV. Classificação Geral dos MGE

1. Semicondutores
 - direto, para wafers
2. Cerâmicos e Vidros
 - direto: para substratos (ex.: alumínio Al_2O_3)
 - indireto: para fornos e reatores tubulares (ex.: quartzo SiO_2)
3. Gases
 - indireto: para atmosfera dos fornos de reação
4. Polímeros
 - Indireto: para encapsulamento de dispositivos
5. Líquidos e Geis
 - Indireto: reagentes de limpeza e preparação
6. Metálicos
 - Direto: microterminais (interligação entre os componentes sob forma de fios extremamente finos - capilares - ou de películas evaporadas de alumínio ou ouro)
 - como dopantes: gálio e índio
 - Indireto: para filamentos aquecedores e emissores ou como cadinhos para fusão de materiais

Classificação dos MGE segundo a Natureza da Aplicação

1. Direta

1.1. semicondutores ("wafers")

1.2. metálicos (microterminais)

1.3. cerâmicos

2. Indireta

2.1. gases (atmosfera dos fornos de reação)

2.2. líquidos (reagentes para limpeza e preparação)

2.3. polímeros (encapsulamento de dispositivos)

2.4. metálicos (filamentos e partes construtivas dos equipamentos necessários à produção do dispositivo)

2.5. cerâmicos (reatores tubulares)

Classificação dos MGE segundo a Natureza Física e Estrutural

1. Semicondutores

1.1. Semicondutores elementares

1.1.1. silício

1.1.2. germânio

1.2. Semicondutores compostos

1.2.1. arsenetos

1.2.2. teluretos

1.2.3. sulfetos

1.2.4. antimonetos

1.2.5. fosfetos

1.2.6. selenetos

2. Cerâmicos e Vidros

2.1. alumina

2.2. quartzo

2.3. outros óxidos

2.4. grafite

2.5. boreto

2.6. carbonetos

2.7. siliceto

2.8. nitretos

2.9. borosilicatos

3. Gases

3.1. hidrogênio

3.2. nitrogênio

3.3. oxigênio

- 3.4. hidretos
- 3.5. argônio
- 3.6. freon
- 3.7. fluoretos

4. Polímeros

- 4.1. elastômeros
- 4.2. eletretos
- 4.3. polinila
- 4.4. teflon
- 4.5. epoxy

5. Líquidos e Géis

- 5.1. fotoresistes
- 5.2. tintas condutoras
- 5.3. reagentes
- 5.4. óleos de baixo P.V.

6. Metálicos

6.1. Metais

- 6.1.1. bismuto
- 6.1.2. índio
- 6.1.3. gálio
- 6.1.4. terras raras
- 6.1.5. metais refratários
- 6.1.6. metais nobres
- 6.1.7. ferro
- 6.1.8. cobalto
- 6.1.9. níquel
- 6.1.10. cromo
- 6.1.11. zinco

6.1.12. aluminio

6.1.13. cobre

6.2. Ligas

6.2.1. ninalloy

6.2.2. alpaga

6.2.3. alucop

Produção de Silício de Grau Eletrônico

O ciclo tecnológico completo para a purificação do silício envolve quatro etapas principais:

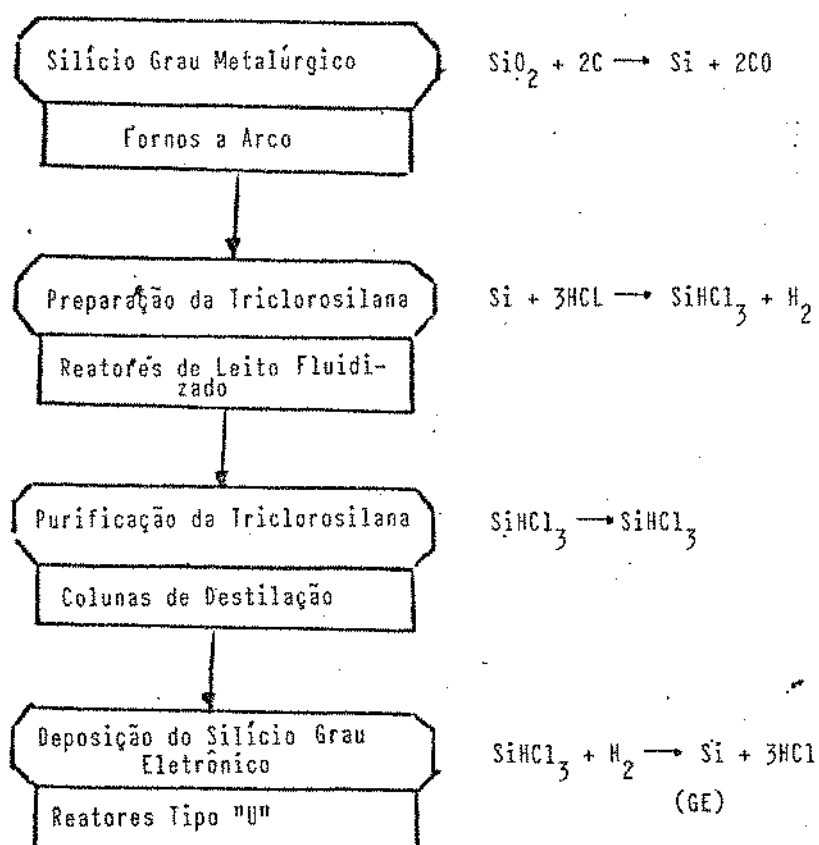
a) obtenção do silício grau metalúrgico com pureza de 98,5%;

b) obtenção do clorosilano propriamente dito e sua purificação por destilação fracionada, com posterior deposição do silício policristalino com pureza 99,999%.

c) crescimento do silício monocristalino

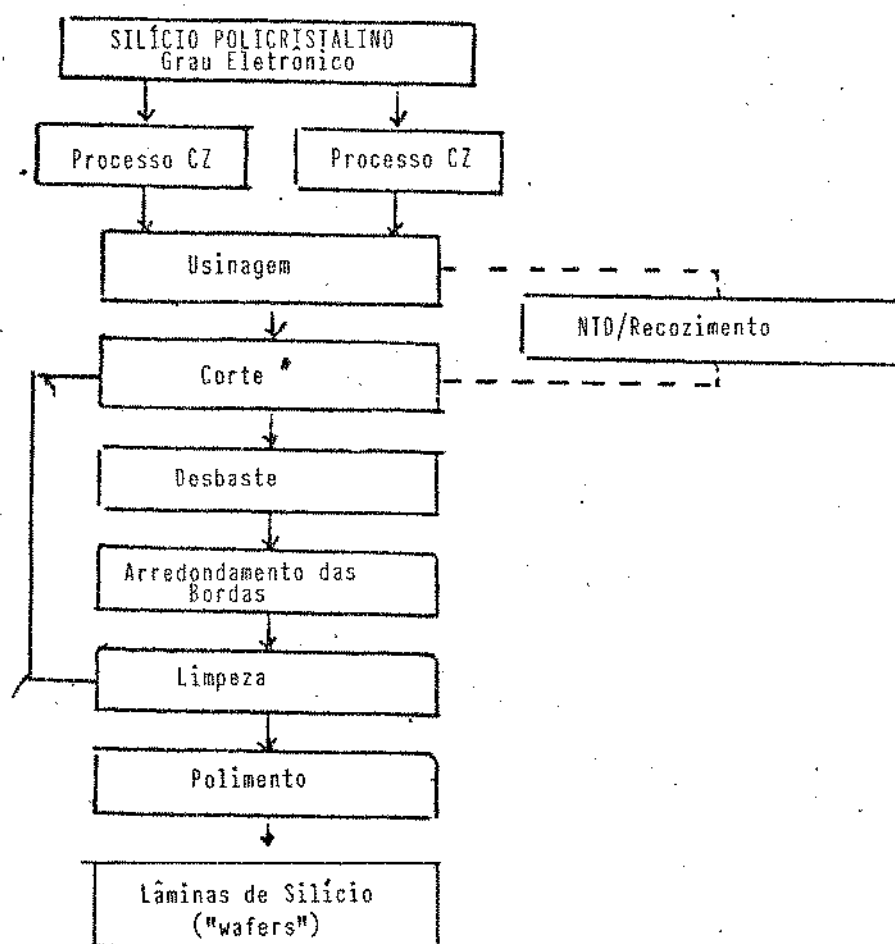
d) purificação do silício monocristalino até grau eletrônico, via fusão zonal.

FLUXOGRAMA DOS PRINCIPAIS PROCESSOS DE OBTENÇÃO DE
SILÍCIO DE GRAU ELETRÔNICO



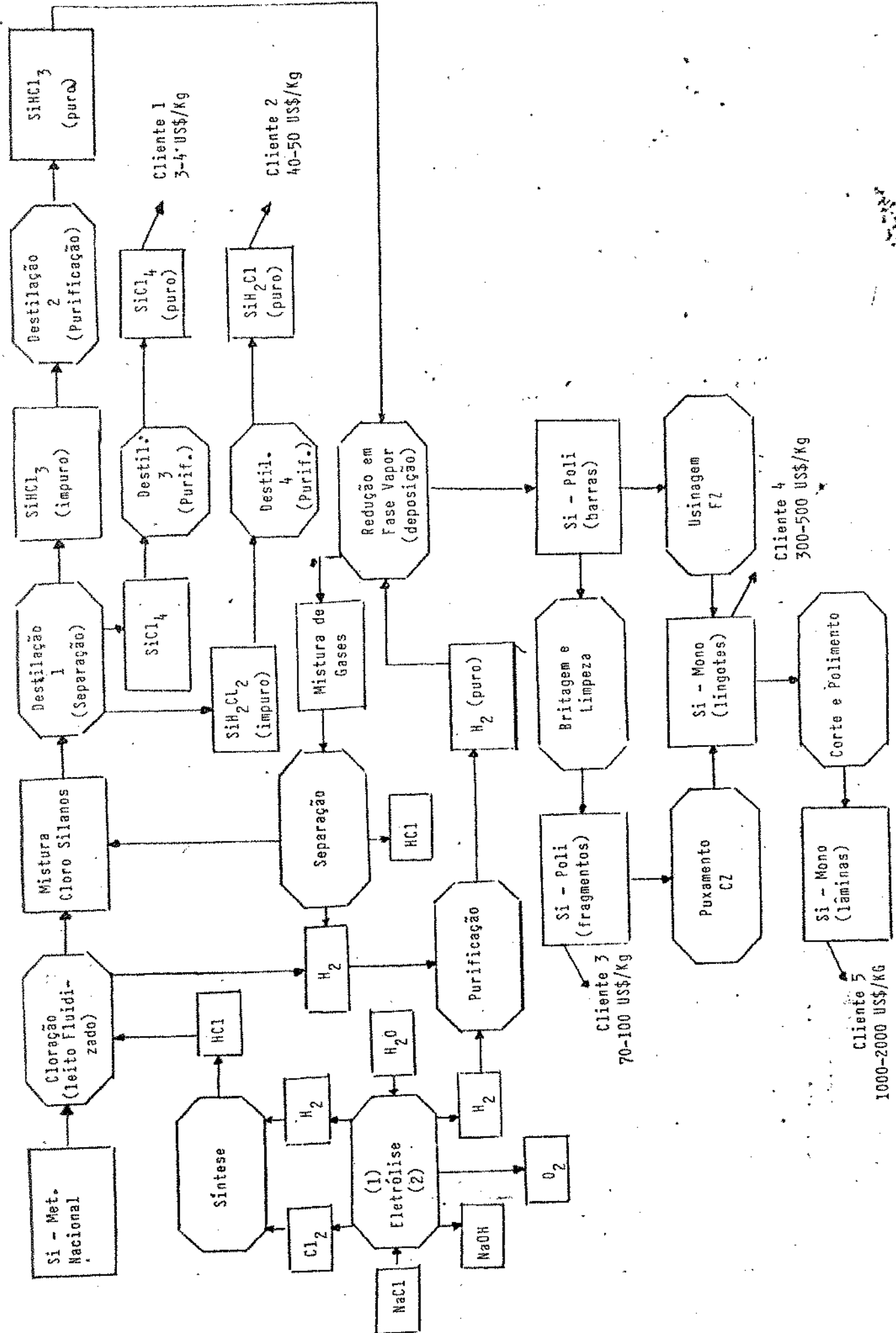
FONTE: Andrade, A.M.: Considerações sobre o Silício e o Quartzo de Alta Pureza no Brasil, preparado para a Comissão de Novos Materiais do Ministério da Ciência e Tecnologia, novembro de 1986, mimeo, p. 4.

FLUXOGRAMA DOS PROCESSOS DE OBTENÇÃO DE LÂMINAS DE
SILÍCIO MONOCRISTALINO



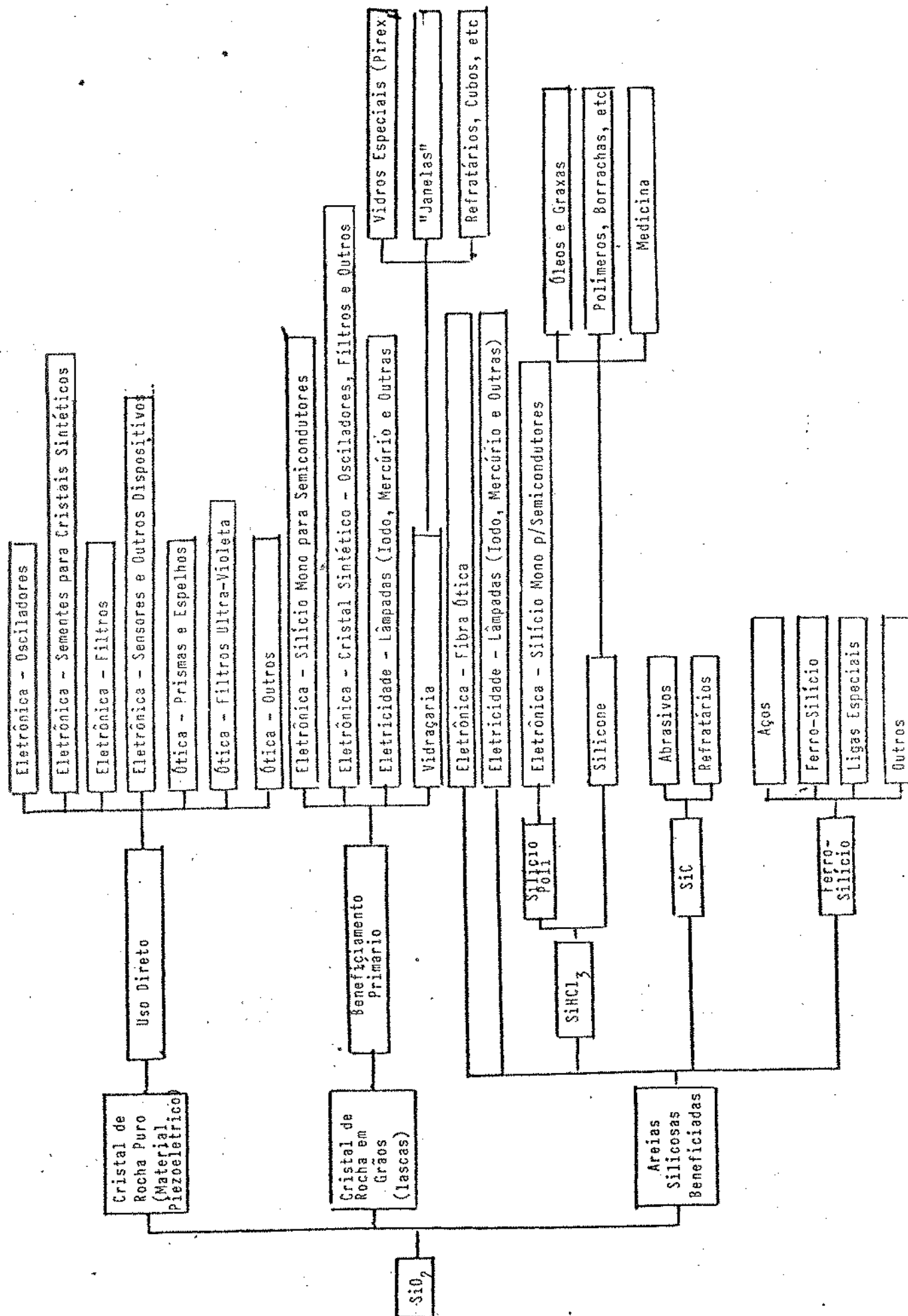
FONTE: Andrade, A.M.: Considerações sobre o Silício e o Quartzo de Alta Pureza no Brasil, preparado para a Comissão de Novos Materiais do Ministério da Ciência e Tecnologia, novembro de 1986, p. 21.

FLUXOGRAMA GLOBAL DA PRODUÇÃO DE SILÍCIO SEMICONDUTOR



FONTE: UNICAMP. Programa de Materiais de Grau Eletrônico (MGE), convênio UNICAMP/TELEBRÁS/FIPI/ITCJ

EMPREGO DO QUARZO



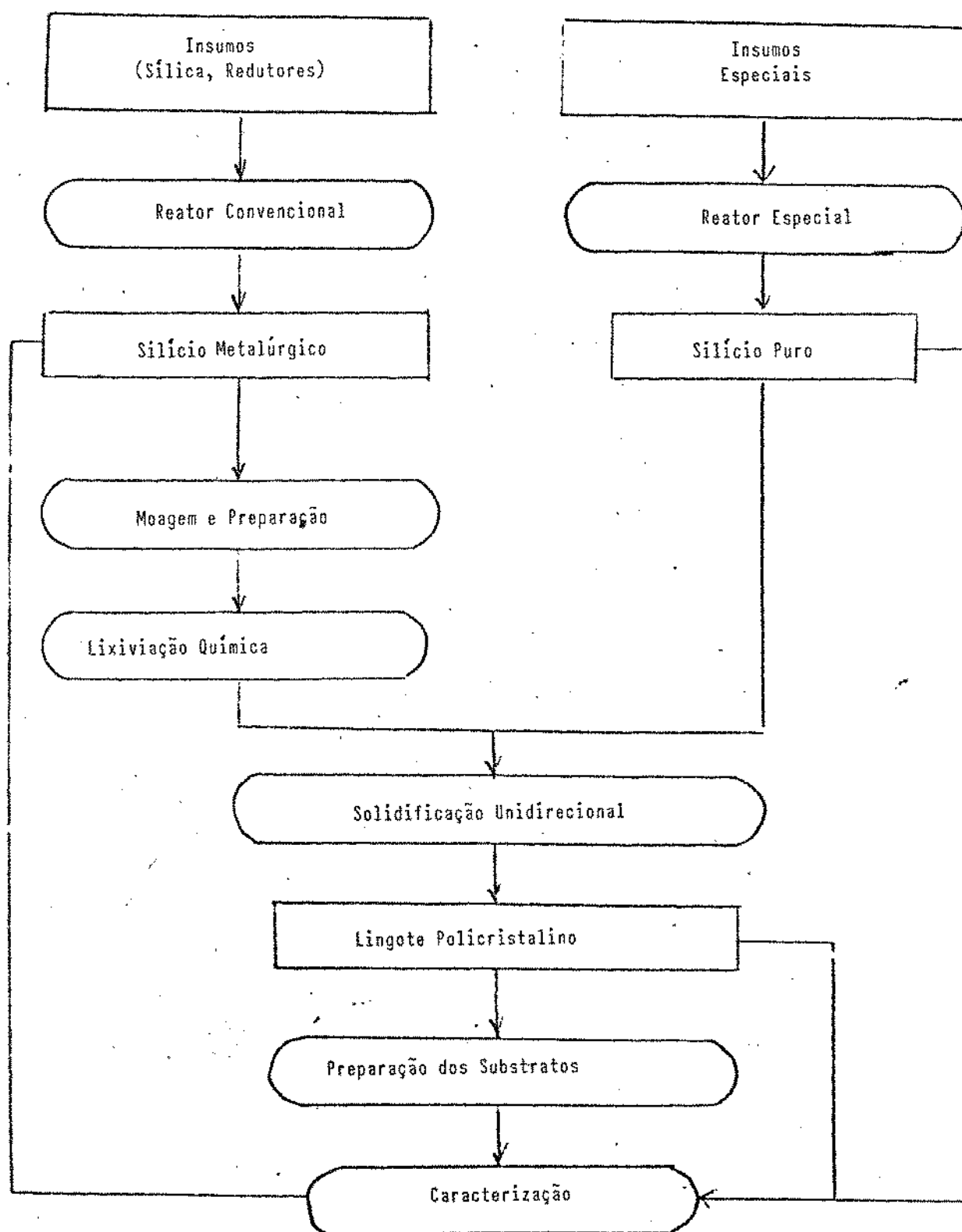
MATRIZ DO QUARTZO

Primeira Geração			Segunda Geração			Terceira Geração			Quarta Geração			Quinta Geração			Sexta Geração		
Sílica Matéria-Prima Mineral	Processos Utilizáveis	Produtos Obtidos	Processos Utilizáveis	Produtos Obtidos	Processos Utilizáveis	Produtos Obtidos	Processos Utilizáveis	Produtos Obtidos	Processos Utilizáveis	Produtos Obtidos	Processos Utilizáveis	Produtos Obtidos	Processos Utilizáveis	Produtos Obtidos	Processos Utilizáveis	Produtos Obtidos	
Cristais facetados	Limpeza	Lâminas	Sintese Hidrotermal Corte	Lâminas	Usinagem	Osciladores	Usinagem	Filtros	Ajustagem	Ataque Químico	Sensores	Transdutores	Encapsulamento	Medidas Elétricas	Sementes p/Cultivo		
	Inspeção	Sementes p/ Cultivo															
	Fragmentação																
Cristais em lascas	Corte		Lascas p/ Cultivo	Pilhas Drift- mentais		Tubos de Silício	Puramento	Fibra Ótica	Tubos p/Fibra Ótica	Tubos p/Difusão	Vidro Ótico	Vidros	Recobrimento	Usinagem	Pulimento	Anéis de Silício	
	Polimento																
	Classificação																
Quartitos	Inspeção	Granulados A	Granulados B	Granulados C	Fusão	Ferro-silício	Recobrimento	Aços Especiais	Ligas Especiais	Silicatos	Tubos e Pastos	Quartzo Sintético	Pré-forma p/F.O.	Puramento	Fibra Ótica	Crescimento por Métodos CZ ou FL	
	Fragmentação				Clareamento												
	Classificação				Puramento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Moldagem	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Corte												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Polimento		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Areias Silíceas	Classificação		Granulados B	Granulados C	Polimento	Silício Metálico (Metalúrgico)	Pulverização	Reação c/Catalisa	Cloração em Leito Clorossilanos	Fluidizado	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	Destilação Fraca	
	Classificação				Polimento												
	Polimento				Polimento												
Are																	

USO DO QUARTZO NAS INDÚSTRIAS

Produtos de Quartzo	Automobilística	Bélica	Computadores	Constr. Civil	Elétrica	Eletrod.	Eletrônica	Eq. Médicos	Metabúrgica	Ótica	Química	Relojaria	Telecomun.	Outras
Osciladores		x	x			x	x	x				x	x	
Filtros		x					x						x	
Sensores	x	x					x				x			
Transdutores	x	x					x				x			
Sementes p/Cultivo														x
Pedras Ornamentais														x
Tubos de Sílica					x		x	x	x		x			x
Fibra Ótica	x							x					x	
Tubos p/Difusão							x				x			
Vidro Ótico										x				
Vidraria	x						x	x		x	x			
Bulbos					x									
Ampolas					x						x			
Lã de Sílica		x												x
Fios de Sílica		x												x
Placas de Sílica										x				
Bloços de Sílica										x				
Cadinhos									x		x			x
Aços Especiais	x	x		x						x				
Ligas Especiais	x	x		x						x				
Silicones														
Tubos de Sílica					x		x	x	x		x			x
Bastões de Sílica														
Fibra Ótica	x								x				x	
Célula Fotovoltaica			x					x				x		x
Transdutores	x							x						
Transistores	x						x	x						
Tíristores	x						x	x						
Sensores			x					x						
Chips	x	x	x				x	x	x				x	x
Detetores	x	x						x			x			
Abrasivos			x								x			x
Refratários			x		x	x					x			
Resistores						x				x				
Vidros Planos	x				x				x					x
Vasilhames									x			x		x
Vidraria									x			x		x
Areia					x					x				x

FONTE: Lemos, C.: "Quartzo e Silício"; in: Inf. Int., v. 19, nº 38, jan/abr 1987, p. 11.

***SILÍCIO DE GRAU SOLAR: FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE OBTENÇÃO**

FONTE: Andrade, A.M.: Considerações sobre o silício e o Quartzo de Alta Pureza no Brasil, preparado para a Comissão de Novos Materiais do Ministério de Ciência e Tecnologia, novembro 1986, mimeo, p. 55.

Processo de Produção da Fibra Ótica

A fibra ótica é constituída de dois cilindros concêntricos, o núcleo e a casca, com dimensões diminutas. A diferença dos índices de refração entre estes dois cilindros permite a reflexão total da luz que penetra na fibra, impedindo sua dispersão e perda.

O processo de fabricação de fibras óticas envolve quatro etapas: produção da préforma, puxamento das fibras, revestimento com materiais plásticos e controle de qualidade.

A préforma, um bastão de vidro do qual será puxado o fio, é obtida a partir de um tubo de sílica (quartzo fundido) onde são depositados, através de um processo de aquecimento, tetracloreto de silício e teracloreto de germânio (este, para alterar o índice de refração da sílica). Esse processo forma o núcleo da fibra: a casca é constituída pelo tubo de sílica pura, (no Brasil, tanto o tubo do qual se puxa o fio quanto o que constitui a casca são importados).

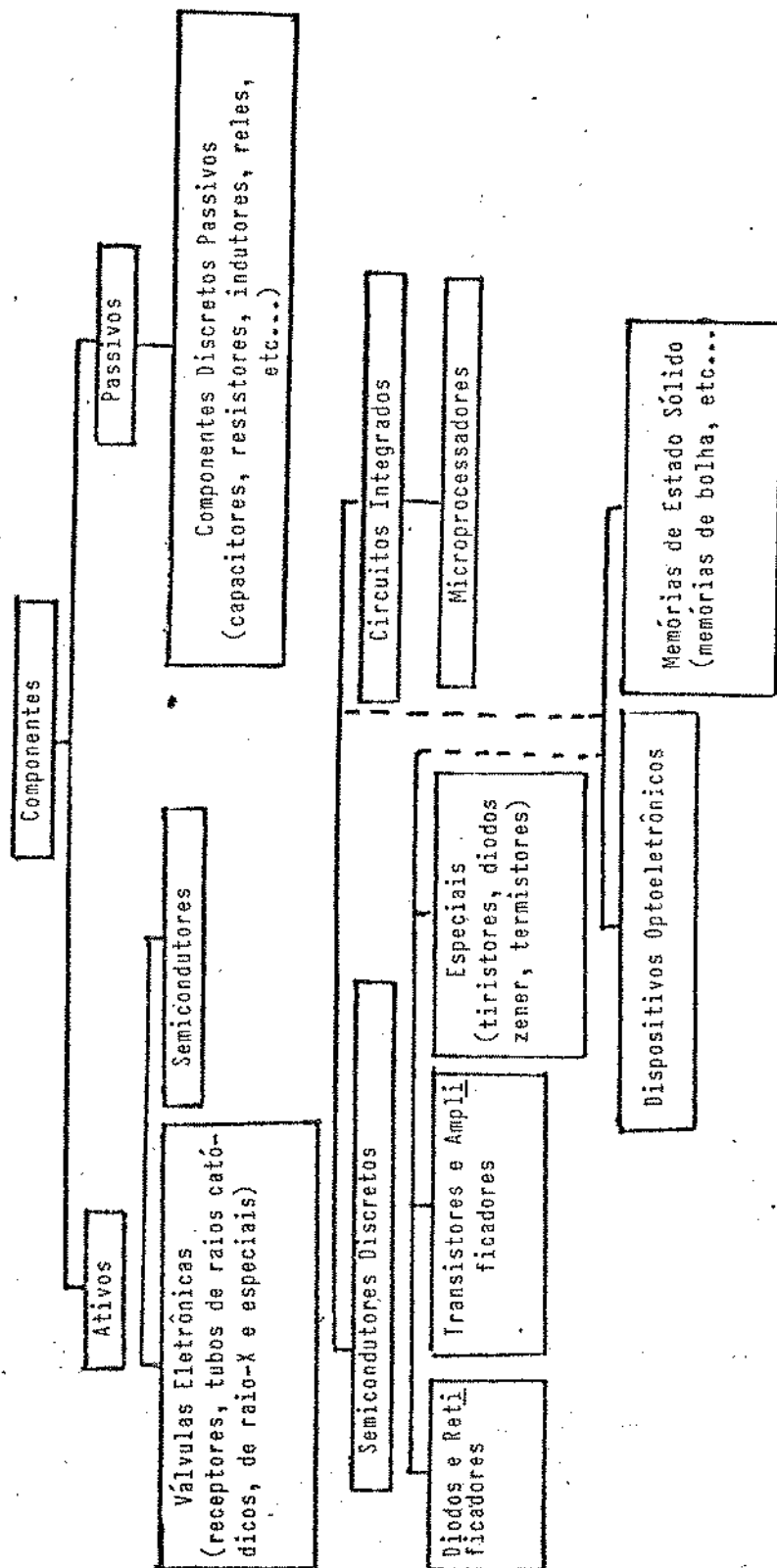
Depois de obtida a préforma, faz-se, também por um processo de aquecimento, o puxamento dos filamentos, reduzindo-se com isso, em cem vezes, o bastão de vidro. No puxamento também é feito o revestimento primário com material plástico (silicone ou resinas de acrilato). De uma préforma de aproximadamente 1 metro de comprimento e 12 centímetros de diâmetro obtém-se cerca de 10 quilômetros de fibras.

A terceira etapa de fabricação consiste no revestimento secundário, resultando nos cabos. O material do revestimento

timento depende da utilização das fibras, e pode ser de diversos tipos de plásticos, silicone, epoxi e outros.

A última etapa é a de controle de qualidade, na qual são medidos a capacidade de transmissão de luz e o índice de perda da luz, com a utilização de microprocessadores.

CLASSIFICAÇÃO DOS COMPONENTES ELETRÔNICOS



FONTE: Dosi, G.: Technical Change and Survival: Europe's Semiconductor Industry, Sussex European Papers nº 9, 1981, p. 87.

Principais Circuitos Integrados

Os principais tipos atuais de circuitos integrados são o microprocessador e o "chip" de memória.

O microprocessador é um circuito integrado que exerce, num único "chip", as funções equivalentes às contidas na unidade de processamento de um computador. Foi introduzido no mercado em 1973; as duas principais gerações são as de 16 bits e de 32 bits (esta, mais recente, data de 1985).

O "chip" de memória é um circuito integrado que armazena informações na forma de cargas elétricas. Há vários tipos de memórias:

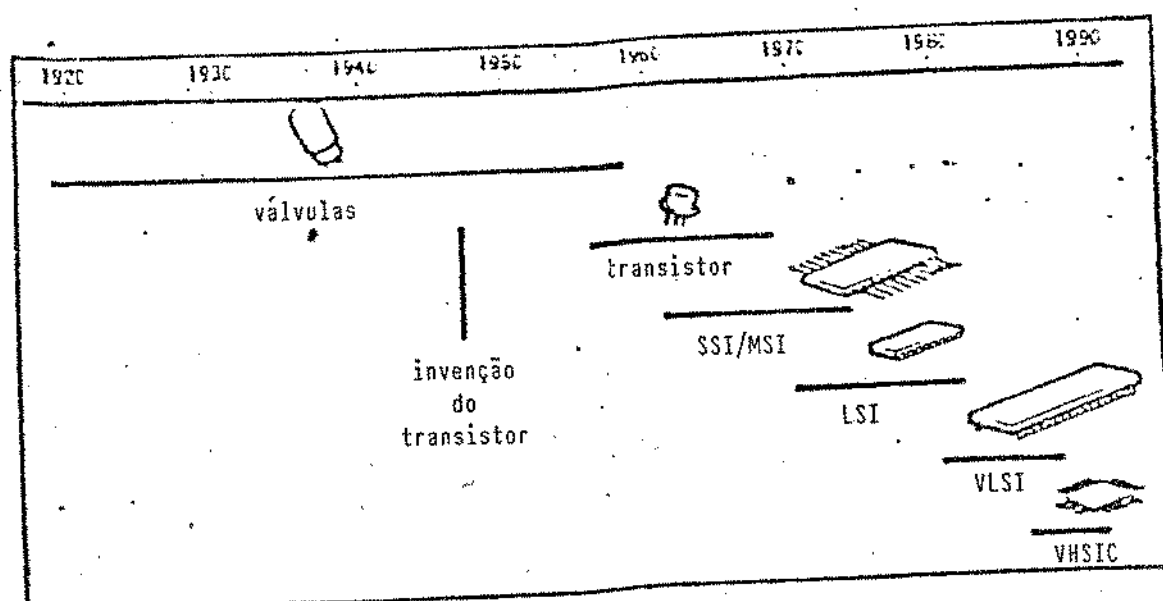
a) RAM (random-access memory), ou memória de acesso aleatório: é um tipo de memória em que os "endereços" individuais podem ser procurados em ordem aleatória. Pode ser dinâmica (DRAM) ou estática. A memória dinâmica é muito menor e é capaz de armazenar mais informações para um mesmo tamanho de "chip", precisando ser "refrescadas" por circuitos especiais periféricos, de forma que os elétrons estão sempre em movimento - daí o termo "dinâmica". A primeira memória RAM de 16 bits se tornou disponível em 1966, e desde então sua densidade vem se quadruplicando a cada três anos aproximadamente, como mostra a tabela abaixo. Espera-se que até o final da década de 80 estejam disponíveis memórias de 1 megabit.

1966	16 bits
1969	64 bits
1971	256 bits

1974	1K (1024 bits) - geração LSI
1977	4K
1980	16K
1982	64K - geração VLSI
1984	256K

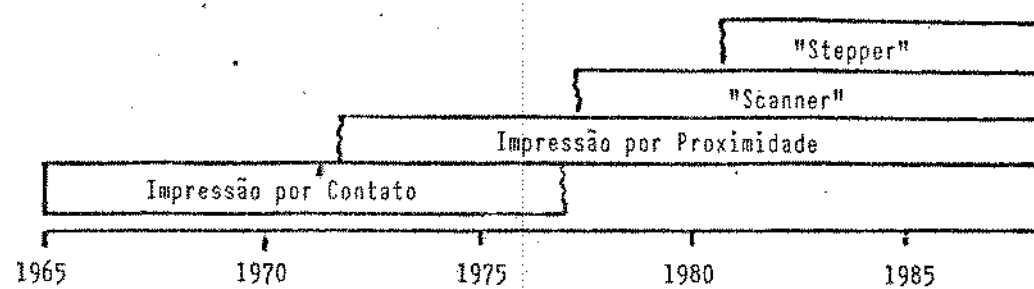
b) ROM (read-only memory) é uma memória cujo conteúdo pode ser lido mas não escrito. As informações são escritas em ROM durante o processo de produção, e ficam armazenadas permanentemente. No entanto, já se produz novos tipos de memórias reprogramáveis, tais como a E-PROM e EE-PROM.

FIGURA 1: EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA DOS DISPOSITIVOS SEMICONDUTORES



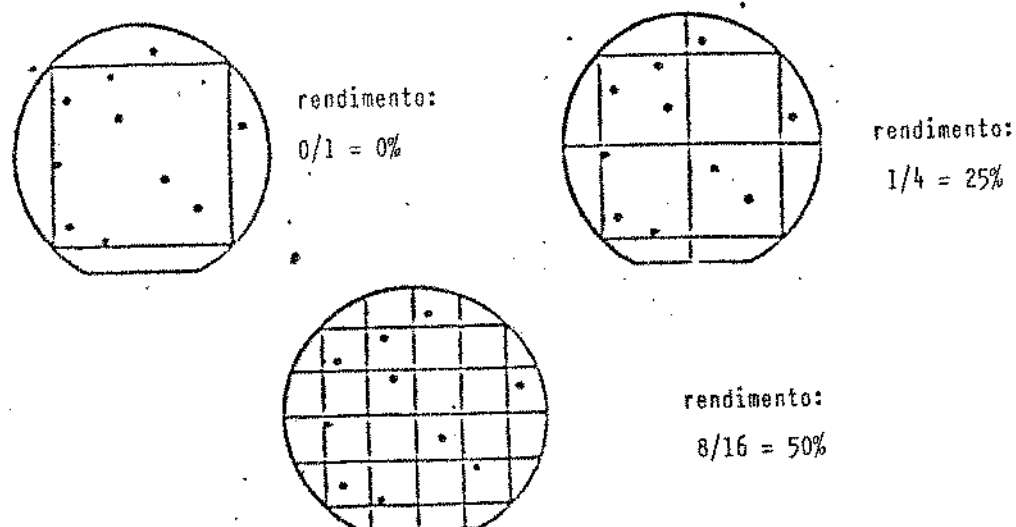
FONTE: Electronic Times, nº 109, janeiro 1981, p. 23, reproduzido em Ernst, Dieter: Restructuring World Industry in a Period of Crisis - The Role of Innovation (An Analysis of Recent Developments in the Semiconductor Industry), prepared by the Global and Conceptual Studies Branch Division for Industrial Studies, UNIDO Working Papers on Structural Changes, UNIDO, dezembro 1981.

FIGURA 2: PRINCIPAIS TENDÊNCIAS DA FOTOLITOGRAFIA



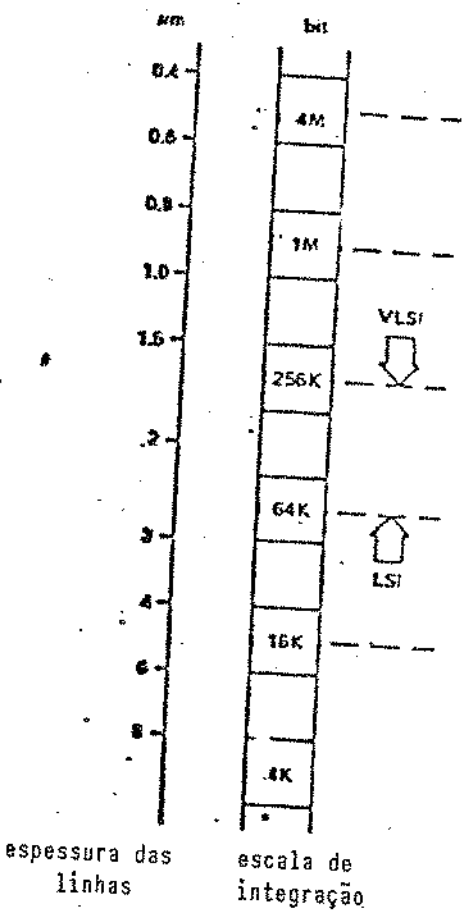
FONTE: Relatório ICE-Status 1983, p. 85.

FIGURA 3: EFEITO DO TAMANHO DO "CHIP" E DA DENSIDADE DOS DEFEITOS SOBRE O RENDIMENTO



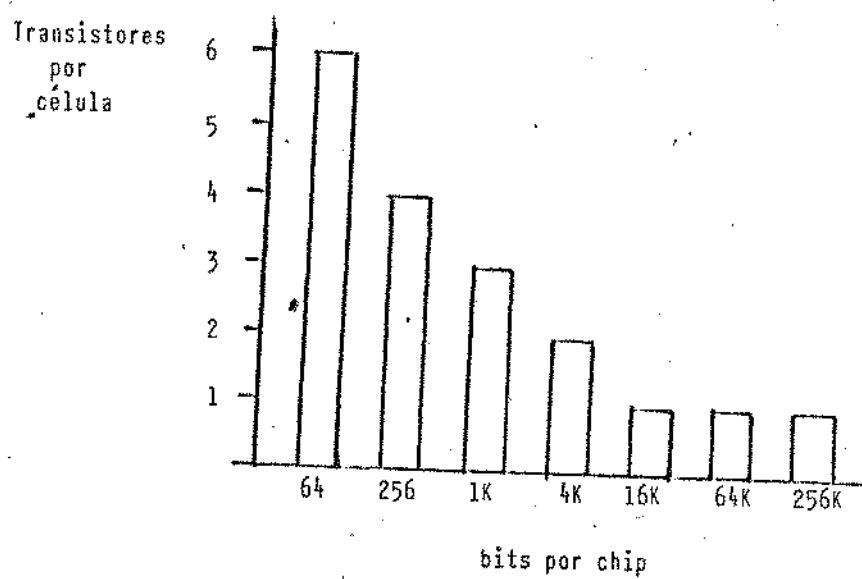
FONTE: Relatório ICE-Status 1983, p. 112.

GRÁFICO 1: CORRESPONDÊNCIA ENTRE A ESPESSURA DAS LINHAS E ESCALAS DE INTEGRAÇÃO



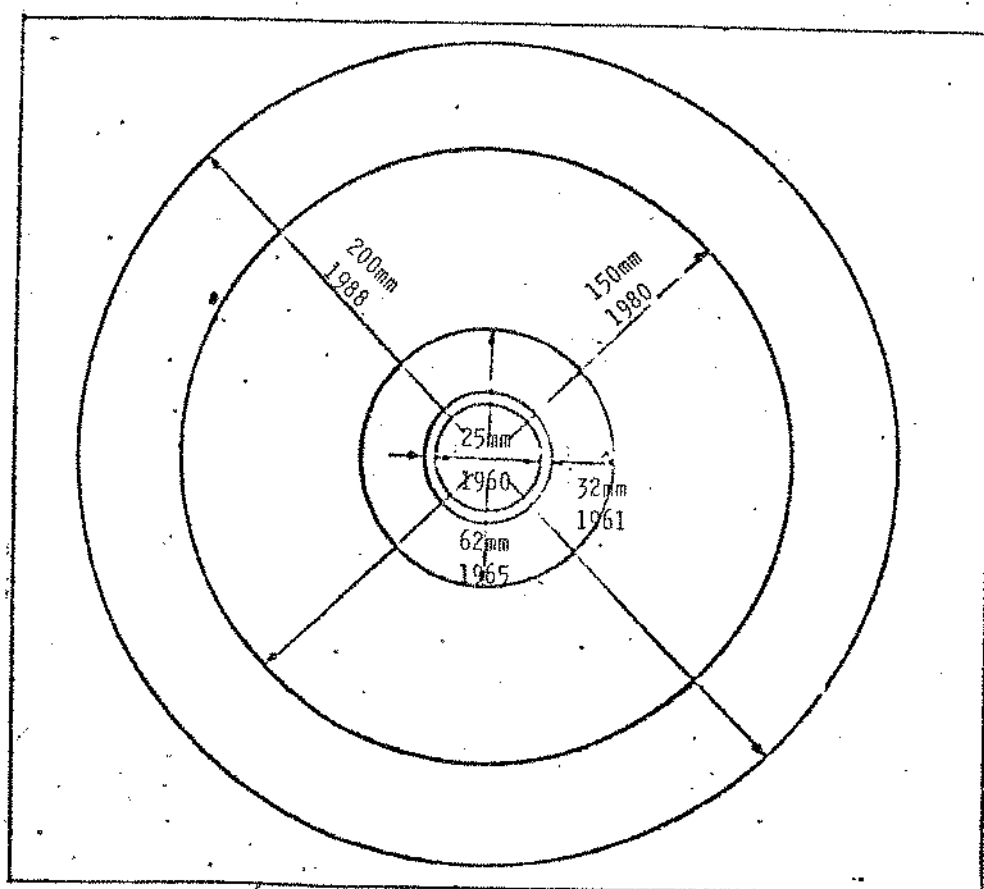
FONTE: Relatório ICE-Status 1984, p. 76.

GRÁFICO 2: SIMPLIFICAÇÃO DA MEMÓRIA



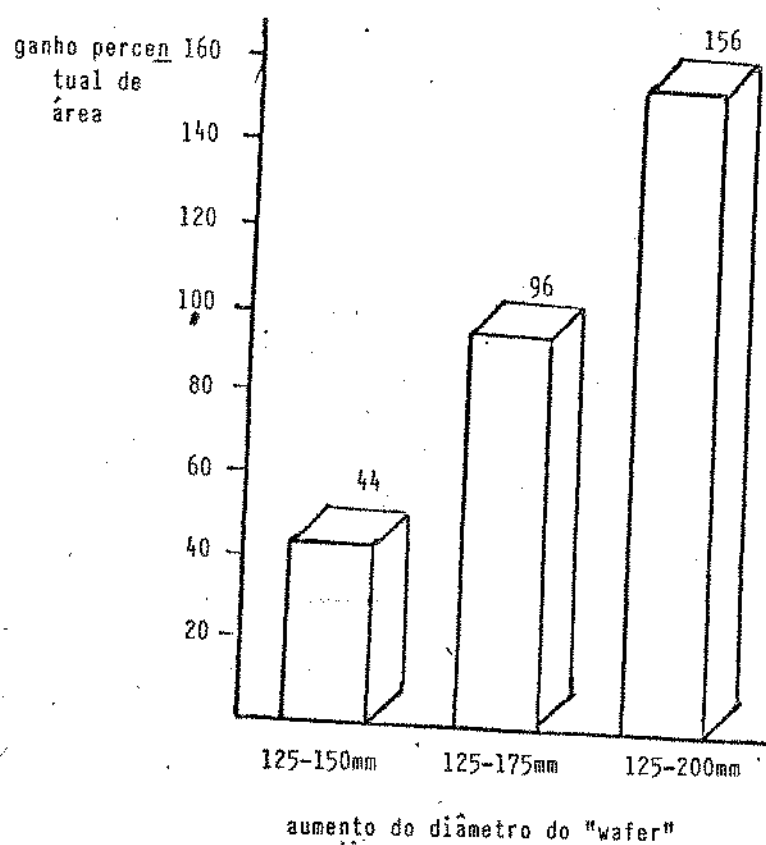
FONTE: Relatório ICE-Status 1983, p. 110.

GRÁFICO 3: EVOLUÇÃO DO DIÂMETRO DAS LÂMINAS DE SILÍCIO DESDE O INÍCIO DA DÉCADA DE 60



FONTE: Zuffo, J.A.: "O presente e o futuro das tecnologias de microeletrônica" in: Revista Politécnica, set/out 1986, nº 133, p. 7.

GRÁFICO 4: GANHO PERCENTUAL DE ÁREA EM CONSEQUÊNCIA DO AUMENTO DO DIÂMETRO DO "WAFER"



FONTE: Relatório ICE-Status 1983, p. 30.

PREÇO DO QUARTZO E DO SILÍCIO

Especificações	Preço Médio (R\$/\$kg)	Ano de Referência	Observações e fonte
Silício grau metalúrgico	1	1976	Nunt, L.P.: <u>Low Cost, Low Energy Processes for Producing Silicon</u> , Dow Corning Solid State Research Development Laboratory, 1977; reproduzido em LME/EPUSP: <u>A Microeletrônica no Brasil</u> . São Paulo, fevereiro 1979, e em Wajnberg, S.: <u>The Brazilian Microelectronics and its Relationship with the Communications Industry - Possibi- lity of International Cooperation</u> , UNIDU, maio 1985.
Silício policristalino	65		
Silício monocristalino CZ	270		
Silício monocristalino FZ	420		
Lâminas de silício cortadas	880		
Lâminas de silício polidas	2.050		
Silício grau metalúrgico	0.5		98% de pureza para produção de aço e ferro fundido
Silício metalúrgico puro	15		99.7% de pureza para produção de aços especiais e transformadores
Silício purificado a nível MGF	500		99.999% de pureza, como elemento semicondutor Campos Filho, M.P.: "No Grau Eletrônico, a Base Estratégica dos Componentes", in <u>Dados e Idéias</u> , jun/jul 1978, p. 24-32.
Silício grau metalúrgico	1		98% de pureza para produção de aço e ferro fundido
Silício grau elétrico	10		99.9% de pureza para produção de aços especiais e transformadores de potência
Silício grau solar	50 a 150		99.999% de pureza como elemento semicondutor para células solares na forma policristalina
Silício grau solar	300 a 400		99.99995% de pureza como elemento semicondutor para células sola- res na forma monocristalina
Silício grau eletrônico	150		99.99999% de pureza como elemento semicondutor para circuitos LSI na forma policristalina
Silício grau eletrônico	400		99.99999% de pureza como elemento semicondutor para circuitos LSI na forma monocristalina Campos Filho, M.P.: "O Insumo Estratégico da Informática", in <u>Dados e Idéias</u> , dezembro 1980, p. 59-65.
Silício cru	40	1982	<u>Microelectronics Monitor</u> , nº 12, outubro 1984
Silício cru	80	1984	
Lasca de quartzo	2		<u>Jornal da Microeletrônica</u> , maio 1985, p. 5
Quartzo sintético	40		
Quartzo fundido	100		
Silício grau metalúrgico	1.4		<u>Isto f.</u> , 16/10/85, p. 42.
Silício policristalino	65		
Silício monocristalino sem polimento	135		
Silício grau metalúrgico	1.5		<u>Dados e Idéias</u> , novembro 1986, p. 78.
Silício grau eletrônico	100		
Silício metálico	1.5		<u>Senhor</u> , 17/07/85, p. 61.
Silício monocristalino	360		
Lasca de quartzo	2		Andrade, A.M.: <u>Considerações sobre o Silício e o Quartzo de Alta Pureza no Brasil</u> , preparado para a Comissão de Novos Materiais do Ministério de Ciência e Tecnologia, novembro 1986, mimeo.
Quartzo sintético	40		
Silício grau eletrônico	60		
Quartzo fundido	100		
Lâminas de silício para microeletrônica	1.200		
Silício grau metalúrgico	1 a 1.20		
Silício policristalino	60 a 85		
Silício monocristalino CZ	360		
Silício monocristalino FZ	450		
Lâminas de silício cortadas	800		
Lâminas de silício polidas	1.100		

APÊNDICE
AO CAPÍTULO 3

APÊNDICE

AO CAPÍTULO 3

O quadro abaixo traz um levantamento o mais completo possível das empresas produtoras de equipamentos para produção de componentes microeletrônicos. As empresas são apresentadas em ordem alfabética, e os equipamentos foram classificados em:

- A - corte e/ou polimento de "wafers" - (equipamentos de preparação)
- B - preparação de máscaras por feixe de elétrons ou por inspeção de superfície - (equipamentos de preparação)
- C - litografia: alinhadores e/ou "steppers" - (equipamentos de processamento)
- D - corrosão a plasma e/ou íon reativo - (equipamentos de processamento)
- E - fornos de difusão e/ou implantadores iônicos - (equipamentos de processamento)
- F - deposição a baixa pressão e/ou a plasma e/ou epitaxial e/ou "sputtering" - (equipamentos de processamento)
- G - testes de circuitos integrados - (equipamentos de testes).
- H - separação dos "chips" e/ou montagem de "chips" e/ou "wafers" ("bonders") e/ou encapsulamento - (equipamentos de montagem)
- I - outros: equipamentos para sala de processamento, tais como purificação de água e/ou ar; os não identificados foram incluídos neste item.

As notas (em algarismos) que aparecem junto à identificação do tipo de equipamento produzido referem-se às empresas subsidiárias, associadas ou divisões específicas responsáveis pela produção daquele tipo de equipamento, conforme lista ao final do quadro.

Empresas	Tipo de Equipamento	Observações
ADVANTEST	G	
AFAG	I	
AMJ	D, F	
ANDO	G	ANDO - Japão. 50% pertence à NEC.
ANELVA	D, F	ANELVA - Japão, Joint-venture entre a VARIAN (19%) e a NEC.
APPLIED MATERIALS	C ¹ , F ²	APPLIED MATERIALS - EUA. Em 1979 comprou a COBILI da COMPUINTERVISION e criou uma subsidiária no Japão, a APPLIED MATERIALS JAPAN; em 1980 comprou a ION IMPLANTATION da LINTOTT ENGINEERING. Construiu uma sala de processamento de "wafers" para análise do desempenho dos equipamentos que produz.
ASM	A, C, F, H	ASM LITHOGRAPHY SYSTEMS - Holanda. É uma joint-venture entre a PHILIPS e a ADVANCED SEMICONDUCTOR MATERIALS INTERNATIONAL (ASMI), ambas holandesas. Foi fundada em 1984 para produzir equipamentos para produção de semicondutores. A ASMI foi fundada em 1969 com a estratégia de concentrar-se no fornecimento de linhas o mais amplas possível de equipamentos e materiais de processamento. Nos EUA a ASM-AMERICA produz apenas equipamentos para deposição.
BALZERS	I	
BRUCE SYSTEMS	D	
CAMBRIDGE INSTRUMENTS	C, G, I	CAMBRIDGE INSTRUMENTS INC. - Inglaterra. Produz equipamentos para produção de cristais de arseneto de gálio e "wafers" deste material. Tem uma subsidiária nos EUA, a CAMBRIDGE INSTRUMENTS LTD.
CANON	C	CANON - Japão. Fundada em 1937, até 1980 seus principais produtos eram máquinas fotográficas e copiadoras. Em 1980 era a única exportadora japonesa de alinhadores de máscaras, cuja tecnologia foi adquirida da empresa norte-americana ZYGO. Desenvolve seu próprio sistema de lentes para equipamentos litográficos. Entrou no mercado de fotoalinhadores através do programa VLSI RESEARCH PROJECT. Pesquisa optoeletrônica.

Empresas	Tipo de Equipamento	Observações
CENSOR	C	CENSOR - Liechtenstein. Seus "steppers" são comercializados pela PERKIN ELMER.
CHUO RIKEN	G	
COMPUGRAPHIC	I	
COMPUTERVISION	I	
DAI NIPPON SCREEN	C	
DAINICHI NEISUGAKU	G	
DISCO	A	
EASTMAN KODAK	A ³	EASTMAN KODAK - EUA. Fundada em 1888 foi líder por muito tempo no mercado fotográfico. Concorre com a RCA e a GE na eletrônica de consumo, a IBM e a XEROX nas copiadoras e equipamentos eletrônicos para escritórios, MEMOREX e 3M em materiais acessórios de computação, FUJI e KONIKA em filmes fotográficos, NIKON, CANON e MINOLTA em câmaras fotográficas, SONY, TOSHIBA e MATSUSHITA em aparelhos de videocassete. A crescente concorrência levou a empresa a modificar sua estratégia de comercialização (vendendo produtos finais produzidos por outras empresas) e a diversificar-se para a produção de produtos químicos (especialidades) através da compra de inúmeras pequenas empresas e algumas associações em joint-venture, especialmente em biotecnologia e materiais de grau eletrônico.
EATON	A, B ⁴ , C, D ⁵ , F, G	EATON - EUA. Originalmente fornecedora de partes de automóveis e caminhões, passou a produzir partes elétricas e equipamentos de automação industrial, abandonando a produção de guindastes e equipamentos florestais, reduzindo a participação no setor de auto-peças. Comprou 50% da OPTIMETRIX, fornecedora de "steppers" no Japão. Em 1978 comprou a KASPER INSTRUMENTS, a DAVIS & WILDER, a MACRODATA e a PACIFIC RELIABILITY. Em 1980 comprou a NOVA ASSOCIATES, seguindo estratégia de se tornar fornecedora da linha completa de equipamentos para produção de semicondutores. Construiu um laboratório de pesquisa de circuitos integrados para desenvolver seus equipamentos e uma sala de processamentos para avaliar seu desempenho.

Empresas	Tipo de Equipamentos	Observações
EDWARD'S	I	
ELECTRON BEAM MICROFAB.	B	
EMCORE	I	EMCORE - EUA. Fundada em 1985 por ex-pesquisadores da AT & T, produz equipamentos para produção de cristais de arseneto de gálio.
EMERGENT TECHNOLOGIES CORP.	D	
ESEC	H	
FAIRCHILD TEST SYSTEMS	G	FAIRCHILD TEST SYSTEMS - França. Divisão da FAIRCHILD CAMERA & INSTRUMENTS, norte-americana, comprada pela SCHLUMBERGER (francesa).
FERROFLUIDICS	I	FERROFLUIDICS CORP. - EUA. Líder na produção de equipamentos para produção de cristais de silício, também produz equipamentos para produção de cristais de arseneto de gálio. Tem joint-venture com empresa japonesa (NIPPON-FERROFLUIDICS) para produzir materiais semicondutores.
FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS	I	
FLOW GENERAL	I ⁶	FLOW GENERAL INC. - EUA. Produz equipamentos para purificação de ar usado nas salas de processamento.
FLUKE	I	
FLUOROCARBON COMPANY	A	
FOTON	H	
FSI CORP.	I	
FUJIKOSHI	A	
GCA	A ⁷ , C, D, G	GCA - EUA. Foi fundada em 1957 como produtora de instrumentos óticos e equipamentos industriais de precisão. Em meados da década de 70 entrou no mercado de equipamentos de produção de semicondutores, desenvolvendo (e introduzindo em 1977) uma nova geração de equipamentos denominados "steppers". Em meados de 1982 passou a desenvolver equipamentos por feixe de elétrons, entrando também no mercado de automação industrial, através da compra da PAR SYSTEMS CORP.,

Empresas	Tipo de Equipamentos	Observações
GEMINI GENERAL SIGNAL	F C ⁸ , E ⁹ , F, G ¹⁰ , H ¹¹ , I ¹²	produtora de robôs a controle remoto. Ainda em 1982 assinou acordos de comercialização dos robôs produzidos pela DAINICHI KIKO, empresa japonesa e comprou a TROPEL INC., produtora de lentes óticas e equipamentos de preparação de "wafers". Tem uma joint-venture no Japão (GCA SUMITOMO SHOJI JAPAN LTD.) para montagem e produção, no Japão, de equipamentos. Desde 1982 vem perdendo participação no mercado de "steppers" para a TRE, a CANON, a ULTRATECH (da GENERAL SIGNAL, que a substituiu no fornecimento à INTEL), OPTIMETRIX e PERKIN ELMER (que fornece à IBM). Atualmente o mercado externo representa 30% de suas receitas. Sua principal concorrente é a NIKON e a principal cliente é a FUJITSU.
GENRAD GERBER SCIENTIFIC HAMPSHIRE INSTRUMENTS HELIX TECHNOLOGY CORP. HEWLETT-PACKARD	G I C I ¹³ I	GENERAL SIGNAL CORP. - EUA. É um grande conglomerado que produz desde equipamentos elétricos para ferrovias até equipamentos para tratamento de água. Já em 1979 era a terceira maior empresa fornecedora de equipamentos para a produção de circuitos integrados. Comprovou a TEMPRESS da SOLA BASIC INDUSTRIES em 1977; em 1980 comprou a XYNETICS, a KAYEX e 60% da ELECTRON BEAM MICROFABRICATION CORP.
HITACHI HOLEC INTEGRATED CIRCUIT TESTING	C, D, I ¹⁴ I G	HEWLETT-PACKARD - EUA. Produz computadores pessoais, periféricos e calculadoras. Pesquisa e desenvolve equipamentos de produção de semicondutores, produz sistemas automáticos para transporte de "wafers".

Empresas	Tipo de Equipamentos	Observações
ION BEAM TECHNOLOGY	E	
JAPAN ORGANO	I	
JEOL	B, C, E	JEOL - Japão. Tem subsidiária nos EUA: JEOL USA INC.
KLA INSTRUMENTS	G	KLA INSTRUMENTS - EUA. Parcialmente pertencente à EG & G (25%), fundada em 1975, produziu o primeiro sistema de inspeção totalmente automatizado. Seus principais clientes são a IBM, a INTEL, a AMD e a MOTOROLA.
KOKUSAI ELECTRIC	E, F, G	
KRAS	H	
KULICKE & SOFFA	H, I	KULICKE & SOFFA INDUSTRIES INC - EUA. Tem subsidiária no Japão: KULICKE & SOFFA JAPAN.
KURITA WAFER INDUSTRIES	I	
LAM RESEARCH	D	
LAPORTE	I ¹⁵	LAPORTE - Inglaterra. Veja quadro de empresas produtoras de materiais de grau eletrônico.
LTX	G	
MARCONI INSTRUMENTS	I	
MATERIALS RESEARCH CORP.	D, F.	MATERIALS RESEARCH CORP. - EUA. Tem joint-venture com a empresa japonesa MIDORIYA ELECTRIC CO. (que tem 20% da joint-venture). Construiu uma sala de processamento de circuitos integrados para avaliar o desempenho de seus equipamentos.
MATRIX INTEGRATED SYSTEMS	D	
NEGATEST	G	
MELLEN	I	
MICRONIX CORP.	C	MICRONIX CORP. - EUA. Participa do programa governamental VHSIC.

Empresas	Tipo de Equipamentos	Observações
MIDORIYA ELECTRIC CO	D, F	MITSUBISHI - Japão. Tem uma joint-venture com a MONSANTO para produzir "wafers" de arseneto de galio com processo desenvolvido pela NTT.
MITSUBISHI	C16	
NANOMETRICS	G	NIKON (NIPPON KOGAKU) - Japão. Produz seu próprio sistema de lentes para seus equipamentos litográficos. Participou do programa VLSI RESEARCH PROJECT a partir do qual entrou no mercado de equipamentos litográficos.
NICHIDEN-ANELVA	D, F	
NICOLEY INSTRUMENTS	I	
NIKON	B, C	
NJS	B	NJS CORP. - Japão. Exporta para os EUA.
OPTIMETRIX	C	PACIFIC WESTERN - EUA. Tem uma joint-venture no Japão: PACIFIC DENSHI SHOKAI.
PACIFIC WESTERN	I	
PERKIN-ELMER	B, C17, D, F, G	PERKIN-ELMER - EUA. Participou do programa VHSIC para desenvolver equipamentos litográficos por feixe de elétrons e a raio X. Fez acordo com a CENSOR para comercializar os "steppers" da empresa europeia. Comprou a ETEC em 1979.
PLASMA-THERM INC.	D	SCHLUMBERGER - França. Veja, acima, FAIRCHILD TEST SYSTEMS.
SANKE ENGINEERING	I	
SCHLUMBERGER	G	SHINKAWA - Japão. Exporta para os EUA.
SHINKAWA	H	
SMITH INDUSTRIES	I18	
SPECTRA PHYSICS	I	
SPEEDFAM	A	

Empresas	Tipo de Equipamentos	Observações
TABAI-ESPEC	G	
TAIKISHA	I	
TAKASAGO - THERMCO ELEC.	I	
TAKEDA RIKEN	G	TAKEDA RIKEN - Japão. Fundada em 1981, desenvolveu seus equipamentos de teste com financiamento da NII. Foi parcialmente comprada pela FUJITSU. Sua principal concorrente no Japão é a ANDO. Exporta para os EUA.
TEGAL	D	
TEKTRONIX	G	TEKTRONIX - EUA. Fundada em 1946, é líder mundial na produção de osciloscópios. Recentemente deixou de desenvolver tecnologia apenas para uso próprio e passou a vender componentes em mercado aberto, estabelecendo subsidiárias com independência comercial, além de transformar uma de suas divisões em subsidiária para produzir "chips" de arseneto de gálio. Produz instrumentos eletrônicos e ferramentas de teste (não apenas para circuitos integrados).
TEL-LAM	D	
TEL-THERMCO	E, F	
TEL-VARIAN	E, F	
TERADYNE	G	
TOKYO ELECTRON (TEL)	C, F, G	TOKYO ELECTRON (TEL) - Japão. Tem joint-venture com cinco empresas norte-americanas (THERMCO, GENRAD, ALLEGHENY INTERNATIONAL, IRE, LAM e VARIAN), que fornecem a tecnologia, cabendo à TEL a adaptação dos equipamentos às necessidades locais.
TOKYO OHKA KOGYO	D	
TOKYO SEIKI	H	
TOKYO SEIMITSU	A, G, H	TOKYO SEIMITSU - Japão. Exporta para os EUA.

Empresas	Tipos de Equipamentos	Observações
TOSHIBA	B	TOSHIBA CORP. - Japão. Desenvolveu nova tecnologia de processamento de circuitos integrados VLSI que não utiliza materiais fotorezistivos mas sim reações químicas provocadas por laser ultravioleta ("radiation damage-free resistless etching"), cuja principal vantagem é reduzir de 7 para 1 as etapas de processamento dos "chips". Produz também "wafers" de arseneto de gálio.
TOWA	I	
TRACOR	I	
TRE	C ¹⁹	TRE CORP. - EUA. Tem joint-venture com a TEL para produzir equipamentos de litografia.
ULVAC	E, F	ULVAC - Japão. Primeira empresa japonesa a produzir equipamentos nos EUA, em associação com a CII CRYOGENICS (divisão da HELIX TECHNOLOGY CORP.).
VARIAN	B, D, E ²⁰ , F, G, H	VARIAN - EUA. Comprou a EXTRION em 1975 e a SPECIALTY METALS & ALLOYS em 1978. Pesquisa novos materiais para substratos, entre eles o arseneto de gálio e supercondutores. É líder em implantadores iônicos mas sofre concorrência da MATERIALS RESEARCH e da PERKIN-ELMER nos sistemas de deposição ("sputtering systems") e da PERKIN-ELMER nos sistemas por feixe de elétrons. Tem duas joint-ventures no Japão: uma com a TEL, para produzir implantadores iônicos e outra com a NEC (ANELVA, da qual a VARIAN tem 19%). Licenciou tecnologia da HEWLETT-PACKARD para desenvolver um sistema baseado em raio X.
VEECO	C ²¹	VEECO INSTRUMENTS INC - EUA. Produz também veículos para transporte de "wafers".
XENON MESSERATT	D	XENON MESSERATT - Áustria. Investe nos EUA desde 1982, para produção de equipamentos de corrosão.
YAMADA	H	
ZENITEL	I	
ZYLIN CORP.	D	

EMPRESAS ASSOCIADAS, SUBSIDIÁRIAS OU DIVISÕES

- | | |
|---|---|
| 1 - COBILI | 12 - KAVEX |
| 2 - ION IMPLANTATION | 13 - CII CRYOGENICS |
| 3 - XERTRONIX e ESTEC | 14 - HIYACHI PLANT & ENGINEERING CONSTRUCTION |
| 4 - KASPER INSTRUMENTS | 15 - COUNTDOWN CLEAN SYSTEMS |
| 5 - NOVA ASSOCIATES | 16 - EXXON |
| 6 - SEMIFAB | 17 - ETEC |
| 7 - TROPEL | 18 - INTEGRATED AIR SYSTEMS |
| 8 - ULTRATECH | 19 - ELECTROMASK |
| 9 - TEMPRESS | 20 - EXTRION |
| 10 - XYNEICIS | 21 - MACRONETICS |
| 11 - MICROAUTOMATION ADVANCED MECHANIZATION | |

FONTE: Elaboração própria a partir de:

- U.S. Congress - Office of Technology Assessment (OTA): International Competitiveness in Electronics, Washington, nov. 1983, p. 144.
- OECD - The Semiconductor Industry-trade Related Issues, 1985, tabelas 30 e 31.
- VLSI Research Inc. in: Electronic Business 15/05/85, p. 112 e 113, Electronic Business 15/05/86, p. 74 e 75; Electronic Business 01/05/87, p. 94 e 95; Electronic Business 15/08/85, p. 90, 91 e 92.
- Nomura Research Institute; Techno Research; Yano Economic Institute, in: Electronic Business 15/05/86, p. 88.
- F. Eberstadt & Co. in: Electronic Business, 01/11/85, p. 116.
- Prime Data Inc., in: Electronic Business 15/08/87, p. 82, 83, 85 e 86, Electronic Business 15/08/86, p. 81, 86 e 87, Electronic Business 01/11/85, p. 104, 110 e 111.
- Integrated Circuit Engineering - ICE Status, especialmente o relatório de 1983.
- Ernst, D. - 1981: Restructuring World Industry in a Period of Crisis - the role of innovation (an analysis of recent developments in the semiconductor industry), prepared for the Global and Conceptual Studies Branch Division for Industrial Studies, UNIDO. Working Papers on Structural Changes, UNIDO, dezembro 1981.
- Fortune, vários números.
- Business Week, vários números.

O quadro a seguir traz um levantamento das empresas produtoras de materiais de grau eletrônico, em ordem alfabética. Os materiais foram classificados em:

- A - fotomáscaras
- B - "wafers" de silício
- C - "wafers" de arseneto de gálio
- D - materiais de grau eletrônico usados nas etapas de processamento, tais como gases, solventes, corrosivos, ácidos, etc...
- E - cápsulas cerâmicas
- F - outros e não identificados

As notas (em algarismos), que aparecem junto à identificação do tipo de material produzido referem-se a empresas associadas, subsidiárias ou divisões, responsáveis pela produção daquele tipo de material, conforme lista apresentada ao final do quadro.

Empresa	Típos de Materiais	Observações
ABEK	¹ A	
ADOLPH COORS	A, E ²	ADOLPH COORS - EUA.
ADVANCED REPRODUCTIONS CORP	A	
ADVANCED SEMICONDUCTOR PRODUCTS	A ³	
ALOWA LIGHT METALS	F	ALOWA LIGHT METALS CO - Japão. Produz cápsulas de alumina.
AIR PRODUCTS AND CHEMICALS	D	AIR PRODUCTS AND CHEMICALS - EUA. Produz principalmente os MGE: gases, ácidos para corrosão, oxidantes e dopantes. É a segunda, depois da UNION CARBIDE, em gases industriais. Em 1984 criou uma joint-venture (APCEL) com a empresa britânica CELLTECH, para pesquisar engenharia genética.
ALIGN-RITE CORP.	A	ALIGN RITE CORP - EUA. Tem subsidiária na Inglaterra.
ALLIED CORP	B, D	ALLIED CORP - EUA. No início da década de 80 passou a diversificar-se para o setor eletro-eletrônico através da aquisição de empresas e passou a investir em P & D na área de biotecnologia, financiando empresas deste segmento. Dentre os MGE, produz principalmente ácidos, corrosivos e solventes. Até o final de 1986 mantinha uma participação de 15,6% na empresa HENLEY GROUP INC. (veja a seguir neste quadro). Produz silício policristalino e pesquisa novos materiais.
ALLOYS UNLIMITED	E	ALLOYS UNLIMITED - EUA.
ALUMINIUM COMPANY OF AMERICA	F	ALUMINIUM COMPANY OF AMERICA - EUA. Produz cápsulas de alumina.
ALUMINIUM PÉCHINEY	D	ALUMINIUM PÉCHINEY - França. Dentre os MGE produz principalmente alumínio ultra-puro para as novas gerações de circuitos integrados. A produção é de apenas algumas centenas de quilos por ano. Também pesquisa novos materiais.
AMETEK INC.	⁴ B	AMETEK INC. - EUA
ASAHI CHEMICAL INDUSTRY CO.	D	ASAHI CHEMICAL INDUSTRY CO - Japão.
ASHLAND OIL-INC.	A ⁵ , D ^{5,6}	ASHLAND OIL INC. - EUA. A divisão ASHLAND CHEMICAL produz os MGE: ácidos, corrosivos e solventes. Recentemente, a ASHLAND OIL comprou a J.I. BAKER CHEMICAL CO., que era subsidiária da RICHARDSON-VICKS, produtores de ácidos, solventes, corrosivos e fotossensíveis.

Empresa	Tipos de Materiais	Observações
ASM LITHOGRAPHY SYSTEMS	E	Veja quadro de empresas produtoras de equipamentos.
ATOMERGIC CHEMETALS CORP.	B, C	ATOMERGIC CHEMETALS CORP. - EUA.
AURIC CORP.	D	AURIC CORP. - EUA.
AVON PRODUCTS	D ⁷	AVON PRODUCTS - EUA. A subsidiária MALLINKRODT produz os MGE: ácidos, corrosivos e solventes.
BALZERS ELECTRONICS	D	BALZERS ELECTRONICS - EUA. produz metais para deposição. Veja quadro de empresas produtoras de equipamentos.
BOC GROUP PLC	D	BOC GROUP PLC - Inglaterra. Produz gases especiais. Tem filial nos EUA: BOC GROUP INC. (AIRCO INDUSTRIAL GASES DIVISION).
BRUSH WELLMAN	D, E	BRUSH WELLMAN - EUA. a origem da empresa foi a produção de berílio para uso na indústria aeroespacial e militar na década de 60. Com a expiração de vários contratos, no início dos anos 70, a empresa se diversificou para a produção de cristais de quartzo cultivado, partes de tratores e equipamentos de construção. Além de produzir cápsulas cerâmicas para circuitos integrados, é a única produtora mundial de óxido de berílio em pó, matéria-prima para as cápsulas. Pesquisa novos materiais.
CABOT CORP.	D ⁸	CABOT CORP. - EUA. Pesquisa novos materiais.
CAMBRIDGE INSTRUMENTS	C, F	Veja quadro de empresas produtoras de equipamentos.
CENTRAL SOLVENTS AND CHEMICALS	D	CENTRAL SOLVENTS AND CHEMICALS - EUA.
CERAC INC.	D	
CHEMETRONICS	D	
CIBA-GEIGY	D	CIBA-GEIGY - Suíça. A empresa originou-se de uma fusão entre a J.R. GEIGY (fundada em 1758 para produção de tintas para a indústria têxtil que, nos anos 30, iniciou a produção de produtos químicos para a agricultura, entre eles o DDT; depois da segunda guerra mundial passou a pesquisar fármacos, tendo sido pioneira na produção de remédios antidepressivos e contra artrite) e a CIBA Ltd. (que iniciou suas atividades em 1856, também no segmento de tintas, diversificando-se para a produção de remédios cardio-vasculares, inseticidas,

Empresa	Tipos de Materiais	Observações
CINCINNATI MILACRON	B	resinas sintéticas, produtos de higiene pessoal e insumos fotográficos). A fusão se deu em 1970. Para a indústria microeletrônica, a empresa produz principalmente resistes para fotomáscaras. Recentemente, vem pesquisando biotecnologia e equipamentos eletrônicos. CINCINNATI MILACRON - EUA. Sua principal atividade é a produção de máquinas-ferramenta, robôs e equipamentos de inspeção eletrônica. Produz "wafers" de silício desde 1971.
COMINCO AMERICAN INC. COMMODORE INTERNATIONAL	B ⁹ , F ⁹ B	COMINCO AMERICAN INC - EUA. Produz compostos do grupo III-V. COMMODORE INTERNATIONAL Ltd. - EUA. Produz também calculadoras, relógios e, mais recentemente, computadores profissionais.
CORNING GLASS WORKS	D ¹⁰	CORNING GLASS WORKS - EUA. Fundada em 1851, produzia lâmpadas elétricas desde 1880, produto que até a década de 40 representava 1/3 de suas vendas, caindo para 10% em 1972. Desde 1960 a indústria de lâmpadas passou por um processo de concentração, estando hoje nas mãos de três produtores verticalmente integrados: GE (General Electric), GTE (General Telephone & Electronics) e Philips, deixando pouco espaço para que a CORNING continuasse no segmento de vidros para lâmpadas, o que a levou a vender sua fábrica para a GTE. Também data da década de 60 a perda do mercado de tubos de vidro para televisores, devido à concorrência japonesa e o surgimento de televisores coloridos. A estratégia da CORNING a partir da década de 80 foi de reduzir sua participação nos mercados maduros e de lento crescimento e investir em pesquisas nas áreas ligadas às novas tecnologias, entre as quais fibras óticas (desde os anos 70) - inicialmente sob licença da WESTERN ELECTRIC (que hoje é sua principal concorrente), biotecnologia - através de uma joint-venture com a KROGER CO. e a EASTMAN KODAK e outra com a GENENTECH. Pesquisa também novos materiais. A DOW CORNING é uma associação com a DOW CHEMICAL, uma das principais produtoras norte-americanas de silicone (matéria-prima para a produção de silício) concorrendo, neste segmento, com a GENERAL ELECTRIC e a UNION CARBIDE.

Empresa	Tipo de Materiais	Observações
CRYSTACOMM	C	CRYSTACOMM - EUA.
CRYSTAL SPECIALTIES INC	C	CRYSTAL SPECIALTIES INC. - EUA.
CRYSTAL SYSTEMS	B	CRYSTAL SYSTEMS INC. - EUA.
DAEWOO	B	DAEWOO - Coreia.
DAI NIPPON PRINTING CO.	A	DAI NIPPON PRINTING CO. - Japão. Atua também nos EUA.
DEGUSSA A.G.	¹¹ D	DEGUSSA A.G. - Alemanha. Produz metais para deposição.
DEXTER CORP.	¹² F	DEXTER CORP. - EUA. É uma das mais antigas empresas do setor químico norte-americano, criada em 1767, produtora de resinas e fibras sintéticas; vem investindo em biotecnologia e atua nos segmentos de novos materiais e especialidades químicas. Para a microeletrônica, produz materiais especiais, entre os quais cápsulas de epoxi.
DIVERSIFIED SUBSTRATES	B	DIVERSIFIED SUBSTRATES - EUA.
DOWA MINING CO	F	DOWA MINING CO. - Japão. Produz compostos do grupo III-V.
DOW CHEMICAL	¹⁰ D, F	DOW CHEMICAL - EUA. Principalmente produtora de produtos químicos intermediários, que representam 60% de sua receita. Foi fundada em 1897 e não tem qualquer ligação com empresas petrolíferas. Produz cápsulas de silicone, pesquisa biotecnologia e novos materiais e está entrando no ramo de produtos químicos especiais através da aquisição de outras empresas. Veja CORNING GLASS WORKS, acima.
DOW CORNING	¹⁰ B, ¹⁰ D	DOW CORNING - EUA. Associação entre a CORNING GLASS WORKS e a DOW CHEMICAL (veja acima). A subsidiária HEMLOCK produz também silício policristalino.
DUCOMMUN INCORPORATED	¹³ B	DUCOMMUN INCORPORATED - EUA.
DU PONT	D	E.I. DUPONT DE NEMOURS & CO. - EUA. Foi fundada em 1802 e até 1915 era fundamentalmente produtora de explosivos. Tem tradição em P & D tendo sido responsável pela criação do nylon, do dacron, orlon, mylar e teflon. É líder na produção de fibras sintéticas, produzindo ainda fármacos e produtos agroquímicos, como fungicidas e inseticidas. No segmento de insumos para a microeletrônica, fabricou

Empresas	Tipo de Materiais	Observações
DYNAMIT NOBEL	B ¹⁴	cápsulas cerâmicas (até 1975) e desenvolveu liga de paládio-níquel que substituiu o ouro nas conexões das placas de circuito impresso, além de resistes líquidos e secos. Investe na pesquisa de "biochip", biotecnologia e novos materiais.
EAGLE-PICHER INDUSTRIES	D	DYNAMIT NOBEL SILICON SpA - Itália. Produz também silício policristalino e atua nos EUA.
EASTMAN KODAK	A, D	EAGLE-PICHER INDUSTRIES - EUA.
ELECTRONIC CHEMICAL CORP	D	Veja quadro de empresas produtoras de equipamentos.
ELECTRONIC SPACE PRODUCTS	D	
E.M. CHEMICALS	A, D	E.M. CHEMICALS - EUA.
E. MERCK DARMSIADY	A, D	E. MERCK DARMSIADY - Alemanha. Importante empresa de indústria farmacêutica, vem se diversificando para a química fina. Em conjunto com grandes produtores de semicondutores, desenvolveu uma série de produtos químicos para a indústria microeletrônica, tais como solventes, ácidos, corrosivos e gases especiais. (Apesar da origem comum, não tem nenhuma ligação com o grupo norte-americano MERCK & CO.).
EPITAXY INC.	B	EPITAXY INC. - EUA.
ETHYL CORP.	B, C ¹⁵	ETHYL CORP. - EUA. Grande produtor mundial de aditivos para carburantes e lubrificantes, que representam cerca de 1/3 de suas atividades. Produz diversos produtos intermediários e aditivos para a indústria de detergentes, materiais plásticos, pesticidas e para a indústria farmacêutica. Produz também silício policristalino. Atua na Europa.
FAIRCHILD	B	FAIRCHILD CAMERA & INSTRUMENTS - EUA. Produz também semicondutores.
FARMITALIA CARLO ERBA SpA	D	FARMITALIA CARLO ERBA SpA - Itália. Produz solventes, ácidos e corantes.

Empresas	Tipo de Materiais	Observações
FURUKAWA ELECTRIC	F	FURUKAWA ELECTRIC - Japão. No Japão é líder na produção de fibras óticas. Produz também compostos do grupo III-V.
GENERAL ELECTRIC	B ¹⁶	GENERAL ELECTRIC COMPANY - EUA. Importante empresa da indústria eletro-eletrônica, é também importante na produção de silicões, concorrendo com a DOW CORNING e a UNION CARBIDE. Produz semicondutores. A subsidiária GREAT WESTERN SILICON produz silício policristalino. Pesquisa biotecnologia, novos materiais e equipamentos para produção de semicondutores.
GENERAL INSTRUMENTS	C	GENERAL INSTRUMENTS - EUA. Empresa do setor eletro-eletrônico.
GENERAL MOTORS	B ¹⁷	GENERAL MOTORS - EUA. A DELCO é uma divisão da GM, produtora de "wafers" de silício e componentes semicondutores para os automóveis da GM, além de sistemas de controle microeletrônico para locomotivas, computadores e sistemas de armamento de defesa.
GENERAL SEMICONDUCTOR	B ¹⁸	GENERAL SEMICONDUCTOR - EUA.
GEMINI TECHNOLOGIES	C	
GOULD	C ¹⁹	GOULD - EUA. A DEXCEL, divisão da GOULD, foi comprada da KYOCERA em 1983. Veja KYOCERA, adiante.
GREAT LAKES CHEMICAL CORP.	B, F ²⁰	GREAT LAKES CHEMICAL CORP. - EUA. Principal produtor mundial de bromo e especialidades químicas derivadas. Sua atividade original baseava-se no petróleo e gás, tendo passado a produzir, nos anos 60, aditivos para carburantes. A crise deste mercado levou-a a investir novamente nos produtos derivados do bromo que constituem, atualmente, sua atividade principal. Vem investindo também nos segmentos de biotecnologia ligados à produção de bromo. Em 1983 comprou a empresa INLAND SPECIALTY CHEMICALS, fabricante de produtos químicos para a microeletrônica.
HARRIS CORPORATION	C ²¹	
HENLEY GROUP	D ²²	
HERAEUS GmbH	D, F	HERAEUS GmbH - Alemanha. Produz metais para deposição. É quase monopolista na produção de cadinhos de sílica para puxamento de cristais de quartzo.

Empresas	Tipo de Materiais	Observações
HI-SILICON	F	HI-SILICON CO Ltd. - Japão. Produz silício policristalino mas não produz "wafers".
HITACHI	B, D ²³ , F ^{23,24}	HITACHI - Japão. Produz compostos do grupo III-V e cápsulas de epoxi. Pesquisa novos materiais. Veja quadro de empresas produtoras de equipamentos.
HOECHST	A, F	HOECHST A.G. - Alemanha. Atua nos EUA (AMERICAN HOECHST CORP. - EM CO PRINTING PRODUCTS DIVISION) e no Japão (HOECHST JAPAN). Pesquisa biotecnologia. Veja também WACKER-CHEMIE.
HOUSTON NATURAL GAS CORP	D ²⁵	HOUSTON NATURAL GAS CORP. - EUA. Produz gases especiais.
HYUNDAI	B	HYUNDAI - Coreia.
IBM	B	INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION - EUA. Não produz silício policristalino. Tem produção cativa de substratos de silício monocristalino. Líder mundial no setor de informática. Pesquisa o "biochip".
ICI	A ²⁶ , C ²⁷ , D ²⁸	IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES - Inglaterra. Fundada em 1926 através da fusão entre a NOBEL INDUSTRIES, produtora de explosivos, e a BRUNNER MOND, empresa de álcalis e outra pequena empresa produtora de tintas. É a principal empresa química britânica produtora de fertilizantes, fármacos, herbicidas, solventes, polímeros condutores, tintas e fibras, tendo investido na formação de uma nova divisão operacional denominada ELECTRONICS GROUP para produzir materiais de grau eletrônico, em colaboração com empresas produtoras de semicondutores no Japão e nos EUA. Pesquisa novos materiais e biotecnologia.
IMTEC PRODUCTS	A	IMTEC PRODUCTS - EUA.
INDIUM CORP. OF AMERICA	D	INDIUM CORP. OF AMERICA - EUA.
INTERMEDICS	A ²⁹	INTERMEDICS - EUA.
INTERNATIONAL MASKING SERVICES	A	

Empresas	Tipo de Materiais	Observações
IWAKI HANDOTAI CO.	F	IWAKI HANDOTAI CO. - Japão. Produz compostos do grupo III-V.
IWAKI SEMICONDUCTOR	C	IWAKI SEMICONDUCTOR - Japão.
JAPAN SILICON	B	JAPAN SILICON CO Ltd - Japão.
JAPAN SYNTHETIC RUBBER	A	JAPAN SYNTHETIC RUBBER CO LTD - Japão.
J.C. SCHUMACHER	B	
JOHNSON MATTHEY P.L.L.	³⁰ D	JOHNSON MATTHEY P.L.L. - Inglaterra. Pesquisa novos materiais. Atua nos EUA (JOHNSON MATTHEY INVESTMENTS INC.).
KANTO CHEMICAL	D	KANTO CHEMICAL CO. INC. - Japão. Produz solventes, ácidos e corrosivos.
KAWASAKI STEEL CORP	³¹ , ³¹ A	KAWASAKI STEEL CORP - Japão. Siderúrgica japonesa que iniciou a produção de silício de grau eletrônico através da compra da empresa norte-americana NBK, que também é produtora de máscaras.
KEC	B	KEC - Coreia.
KEIRI	B	KEIRI - Coreia.
KOCH LIGHT LABS.	D	KOCH LIGHT LABS - Japão.
KOMATSU	B	KOMATSU ELECTRONIC METALS CO LTD. - Japão. Produz também silício policristalino.
KTI CHEMICALS	D	KTI CHEMICALS - Inglaterra. Também distribui fotorezistas produzidos por terceiros.
KYOCERA INTERNATIONAL INC.	E	KYOCERA INTERNATIONAL INC. - EUA. Subsidiária norte-americana da empresa japonesa KYOTO CERAMICS, produtora de cerâmicas especiais. Pesquisa novos materiais.
L'AIR LIQUID	D	L'AIR LIQUID - França. Produz gases especiais.
LAPORTE	³² , ³³ , ³⁴ D	LAPORTE - Inglaterra. Inicialmente especializada em peróxido de hidrogênio, diversificou-se primeiro para a produção de "commodities" especialmente de produtos minerais, tendo depois abandonado paulatinamente estas atividades, concentrando-se a partir de 1982 em especialidades químicas ao mesmo tempo em que se internacionalizou

Empresas	Tipo de Materiais	Observações
LITTON INDUSTRIES	C ³⁵	através da compra de diversas empresas estrangeiras na Austrália, nos EUA e na França. Atua nos segmentos de farmacêutica, intermediários orgânicos e agroquímica. Entrou no segmento de produtos químicos para a microeletrônica através da compra da empresa inglesa MICROIMAGE TECHNOLOGY em 1983, produtora de solventes, ácidos e corrosivos, e que havia desenvolvido, junto com a norte-americana EASTMAN KODAK um resiste positivo. Comprou ainda a empresa francesa SOPRELEC, também produtora de solventes, ácidos e corrosivos e as norte-americanas EXSIL e COUNTDOWN CLEAN SYSTEMS, esta especializada em equipamentos para salas de processamento ("clean rooms").
LSI CONSULTANTS	A	LITTON INDUSTRIES - EUA.
LUCKY GOLDSTAR	B	LUCKY GOLDSTAR - Coreia.
M/A COM	B, C ³⁶	M/A COM - EUA.
MATERIALS RESEARCH CORP.	D	MATERIALS RESEARCH CORP - EUA. Produz metais para deposição. Veja quadro de empresas produtoras de equipamentos.
MATHESON GAS PRODUCTS	D	MATHESON GAS PRODUCTS - EUA. Produz gases especiais.
McKesson Corporation	D ³⁷	McKesson Corporation - EUA.
MEAD CORPORATION	A ³⁸	MEAD CORPORATION - EUA. A MEAD TECHNOLOGIES, produtora de fotossensíveis, pertence, em 30% à PHILIP A. HUNT CHEMICAL CORP., que foi comprada pela OLIN CORP. Veja OLIN CORP., adiante.
MESSER GRIESHEIM	D	MESSER GRIESHEIM GmbH - Alemanha.
METAL SPECIALTIES INC.	C	METAL SPECIALTIES INC. - EUA.
METCERAM	E	METCERAM - EUA.
MICROMASK	A	
MICROTRONICS	A	

Empresas	Tipo de Materiais	Observações
MITSUBISHI	B ³⁹ , C ³⁹ , D ³⁹ , F ³⁹	MITSUBISHI - Japão. Produz metais para deposição e compostos do grupo III-V. Pesquisa novos materiais.
MITSUBISHI CHEMICAL INDUSTRIES	D	MITSUBISHI CHEMICAL INDUSTRIES LTD. Produz solventes e ácidos. Pesquisa biotecnologia.
MITSUBISHI GAS CHEMICAL	D, E	MITSUBISHI GAS CHEMICAL CO. INC. - Japão. Produz solventes, ácidos e cápsulas de cerâmica.
MITSUBISHI-MONSANTO COMPANY	C, F	MITSUBISHI-MONSANTO COMPANY (MMC) - Japão. Joint-venture entre a MITSUBISHI e a MONSANTO, sediada em Tóquio. Produz compostos do grupo III-V.
MITSUI TOATSU CHEMICALS INC.	D	MITSUI TOATSU CHEMICALS INC. - Japão. Produz gases especiais.
MMM ou 3M	D, E	MINNESOTA MINING & MANUFACTURING (3M) - EUA. Fundada em 1902, pela compra, por vários investidores, de uma mina de mineral usado em abrasivos (corundum). A mina não produzia mineral na qualidade necessária para a produção de abrasivos e a empresa passou a produzir a fita de celofane. Em 1930, seis anos depois da introdução do celofane pela DUPONT, a 3M colocou adesivo na fita de celofane e criou a fita Scotch, inicialmente para uso industrial. Atualmente a 3M produz 45.000 tipos de produtos para uso doméstico e industrial, de loções solares a fotocopiadoras. Pesquisa novos materiais.
MONSANTO	B ⁴⁰ , D, F	MONSANTO - EUA. É a maior produtora norte-americana de silício policristalino; entre suas principais clientes estão a IBM e a MOLOLA, que por sua vez são as principais produtoras cativas de "wafers". Atua na Europa (MONSANTO EUROPE) e tem uma joint-venture com a empresa japonesa MITSUBISHI (veja acima). Produz compostos do grupo III-V, pesquisa biotecnologia e novos materiais.
MORTON THIOKOL INC	D ⁴¹ , F	MORTON THIOKOL INC. - EUA. Produz cápsulas de epoxi.
MOTOROLA	B	MOTOROLA INC. - EUA. Produtora cativa de silício policristalino e de "wafers". Produz também componentes semicondutores, células e painéis fotovoltaicos.
NAGASE & COMPANY	A	NAGASE & COMPANY - Japão.

Empresas	Tipo de Materiais	Observações
NANOMASK	A	NANOMASK - França.
NARUMI	E	NARUMI - Japão.
NATIONAL SEMICONDUCTOR	42 A, B	NATIONAL SEMICONDUCTOR - EUA. Produz também células e painéis foto-voltaicos.
NIHON SILICON	B	NIHON SILICON - Japão.
NIKEI KAKO	F	NIKEI KAKO - Japão. Produz cápsulas de alumina.
NIPPON FERROFLUIDICS	F	NIPPON FERROFLUIDICS - EUA. Joint-venture entre a NIKON (japonesa) e a FERROFLUIDICS (norte-americana), produtora de compostos do grupo III-V.
NIPPON KOGAKU K.K. (NIKON)	B	NIPPON KOGAKU K.K. - Japão. Veja quadro de empresas produtoras de equipamentos.
NIPPON KOKAN (KK)	B	NIPPON KOKAN K.K. - Japão. Siderúrgica japonesa que iniciou a produção de silício de grau eletrônico com licença da GENERAL ELECTRIC em 1985.
NIPPON MINING CO.	D	NIPPON MINING CO - Japão. Produz metais para deposição.
NIPPON SANJO K.K.	D	NIPPON SANJO K.K. - Japão. Produz gases especiais.
NIPPON STEEL CORP.	B	NIPPON STEEL CORP. - Japão. Siderúrgica japonesa que iniciou a produção de silício com a ajuda da HITACHI, em 1985.
NISSAN CHEMICAL	D	NISSAN CHEMICAL INDUSTRIES INC. - Japão. Produz solventes e ácidos.
NITTO ELECTRIC INDUSTRIAL CO.	F	NITTO ELECTRIC INDUSTRIAL CO. - Japão. Produz cápsulas de epoxi.
NTK TECHNICAL CERAMICS	E	NTK TECHNICAL CERAMICS - Japão.
OLIN CORP.	43, 44, 45, 46, 47 A, D	OLIN CORP. - EUA. Originalmente produtora de explosivos, controlou durante muito tempo a empresa de armas WINCHESTER. Diversificou-se paulatinamente para a química e materiais plásticos com a aquisição da MATHIESON CHEMICAL CORPORATION e vem reduzindo as atividades em "commodities" ao mesmo tempo investindo em especialidades químicas. Produzia também ligas metálicas não ferrosas e produtos

Empresas	Tipo de Materiais	Observações
OPTIFAB	A	para purificação de água. Passou a investir em produtos químicos para a microeletrônica a partir de 1983 com a compra da PHILIP A. HUNT CHEMICAL CORP., produtora de fotorezistências e corrosivos, da HI-PURE CHEMICAL CORP., produtora de ácidos e solventes (que era subsidiária da ALLIED CORP.), da APACHE CHEMICALS INC., produtora de dopantes e compostos do grupo III-V, além da CONSOLIDATED CLAD METAL e 45% da INDY ELECTRONICS.
OPTIFILM	A	
OSAKA TITANIUM	B	
PCA INTERNATIONAL	B	OSAKA TITANIUM CO. Ltd - Japão. Produz também silício policristalino.
PERKIN ELMER	D	PCA INTERNATIONAL - EUA.
PHILIPS	B	PERKIN ELMER - EUA. Produz metais para deposição. Veja quadro de empresas produtoras de equipamentos.
PHOENIX RESEARCH	D	N.V. PHILIPS GLOEILAMPENFABRIEKEN - Holanda. Produz também componentes semicondutores, painéis e células fotovoltaicas. Pesquisa novos materiais. Veja quadro de empresas produtoras de equipamentos.
PHOTOMASKING SERVICES	A ⁴⁸	PHOENIX RESEARCH - EUA. Produz gases especiais.
PHOTO SCIENCES INC.	A	PHOTOMASKING SERVICES - Inglaterra.
PHOTO TRANSFER INDUSTRIES (PTI)	A	
PHOTRONIC LABS INC.	A	
PICOGIGA	B	PICOGIGA - França. Fundada por ex-pesquisadores da THOMSON.
PLASCON PRODUCTS	F	PLASCON PRODUCTS - EUA. Produz cápsulas de epoxi.
PRECISION ART COORDINATORS	A	

Empresas	Tipo de Materiais	Observações
PREUSSAG PURE METALS	C	PRESSAUG PURE METALS - Alemanha.
PUREX INDUSTRIES	D ⁴⁹	PUREX INDUSTRIES - EUA. Produz solventes.
QUALITRON	A	
RAYTHEON	D	
RHO-CHEM CORP	D	
RHONE-POULENC S.A.	D	RHONE-POULENC S.A. - França. Em 1980 vendeu suas atividades na petroquímica e derivados de petróleo para as empresas petrolíferas francesas. Foi nacionalizada e vem se especializando nos segmentos de maior valor adicionado, como especialidades químicas e química fina em atividades ligadas à agroquímica, saúde e têxtil. Produz os MGE: solventes, ácidos e corrosivos. Produz também silicões.
RIEDEL-DE HAEN A.G.	D	RIEDEL-DE HAEN A.G. - Alemanha. Produz solventes e ácidos.
ROCKWELL INTERNATIONAL	B	ROCKWELL INTERNATIONAL - EUA. Também produz componentes semicondutores.
ROHM AND HAAS	50, 51 A	ROHM AND HAAS - EUA. Grupo tradicionalmente da petroquímica (polímeros, resinas e materiais plásticos), atua também na agroquímica (pesticidas e herbicidas) e vem se diversificando em direção à produção de sementes e outras especialidades químicas. Em 1982 comprou 30% da SHIPLEY COMPANY (veja em seguida) e a ELECTRO MATERIALS CORP. em 1983. (Não tem ligação com o grupo ROHM AND HAAS da Alemanha).
RPS CERAMFILTRE	D	RPS CERAMFILTRE - França. Pesquisa novos materiais.
SAMSUNG	B	
SAPHIKON	F	SAPHIKON - EUA. Produz "wafers" de safira.
SCIENTIFIC GAS PRODUCTS INC.	D	SCIENTIFIC GAS PRODUCTS INC. - EUA. Produz gases especiais.
SDI	B	SDI - EUA.

Empresas	Tipo de Materiais	Observações
SEISETSU KAGAKU	D	SEISETSU KAGAKU CO. Ltd - Japão. Produz gases especiais.
SEMICONDUCTOR MATERIALS A/S	B ⁵²	SEMICONDUCTOR MATERIALS A/S - Dinamarca. Também produz silício policristalino.
SEMICONDUCTOR PROCESSING	C	SEMICONDUCTOR PROCESSING CO. INC. - EUA.
SEMINETALS	B	SEMINETALS - EUA.
SHIN-ETSU CHEMICAL	B, C, D, F	SHIN-ETSU CHEMICAL - Japão. Produz também cápsulas de silicone e silício policristalino.
SHIN-ETSU HANDOTAI	B, D	SHIN-ETSU HANDOTAI (SEH) - Japão. Empresa produtora de materiais, líder japonesa. Tem subsidiária nos EUA (SEH-AMERICA) e atua na Inglaterra e Escócia.
SHIPLEY	A	SHIPLEY COMPANY - EUA. Também produz componentes semicondutores. Tem subsidiárias no Japão (SHIPLEY FAR EAST) e na Alemanha (SHIPLEY COMPANY INC.), 30% de suas ações pertencem à RHOM & HAAS, empresa norte-americana do setor químico.
SHOWA DENKO	F	SHOWA DENKO N.K. - Japão. Produz compostos do grupo III-V. Atua nos EUA.
SIEMENS	B, C	SIEMENS - Alemanha. Fundada em 1847, a SIEMENS atua nas áreas de motores, geradores, reatores nucleares, tubos de raio X, marca-passos cardíacos, equipamentos ultrassônicos, teleimpressoras, máquinas telex, sistemas de telefonia, fibras óticas, computadores e circuitos integrados. É produtora cativa de equipamentos de produção de semicondutores, tem inúmeros acordos internacionais de licenciamento de tecnologia e P & D conjunto, entre eles um acordo com a PHILIPS para desenvolver novos materiais semicondutores.
SIERRACIN CORP	A ⁵³	
SILTEC CORP	B, E	SILTEC CORPORATION - EUA.
SINO-AMERICAN SILICON PRODUCTS	B	SINO-AMERICAN SILICON PRODUCTS - Taiwan.
SUMITOMO BAKELLITE CO	F	SUMITOMO BAKELLITE CO. - Japão. Produz cápsulas de epoxi.

Empresas	Tipo de Materiais	Observações
SUMITOMO CHEMICAL	D	SUMITOMO CHEMICAL CO. Ltd - Japão. Produz solventes, ácidos e cor- rosivos.
SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES	C, F	SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES - Japão. Líder japonesa em fibras óti- cas e terceira a nível mundial. Produz também compostos do grupo III-V.
SUMITOMO LIGHT INDUSTRIES	F	SUMITOMO LIGHT INDUSTRIES - Japão. Produz cápsulas de alumina.
SUMITOMO METAL MINING	D, F	SUMITOMO METAL MINING - Japão. Produz metais para deposição e com- postos do grupo III-V. Atua nos EUA.
TAKACHINO TRADING CO. Ltd	D	TAKACHINO TRADING CO. Ltd - Japão. Produz gases especiais.
TAKEDA CHEMICAL	D	
TAU LABORATORIES	A	
TDK	D	TDK - Japão. Pesquisa novos materiais.
TEKTRONIX	C ⁵⁴	Veja quadro de empresas produtoras de equipamentos.
TEXAS INSTRUMENTS	D ⁵⁵	TEXAS INSTRUMENTS - EUA. Grande produtora de componentes semicon- dutores. Produz também silício policristalino, células e painéis fotovoltaicos. Pesquisa o "biochip" e biotecnologia.
TOKUYAMA SODA	A	TOKUYAMA SODA CO. Ltd - Japão. Também produz silício policrista- lino.
TOKYO-OHKA KOGYO	A, D	TOKYO-OHKA KOGYO Ltd - Japão. Produz solventes e ácidos. Veja qua- dro de empresas produtoras de equipamentos.
TORAY SILICONE CO	F	TORAY SILICONE CO - Japão. Produz cápsulas de silicone.
TOSHIBA	B ⁵⁶ , C, F ⁵⁷	TOSHIBA - Japão. Produz cápsulas de silicone.
TOWNE LABORATORIES	A	
TRE CORP	A ⁵⁸	Veja quadro de empresas produtoras de equipamentos.
TSURUMI SODA	D	TSURUMI SODA CO. Ltd - Japão. Produz gases especiais.
ULTRAGLAS	A	

Empresas	Tipo de Materiais	Observações
ULTRATECH	A	
UNION CARBIDE	59, F D	UNION CARBIDE - EUA. Além de ser muito diversificada, detém 40% do mercado norte-americano de triclorsilano, matéria-prima para a produção de silício. Produz também silício policristalino e gases especiais. Considerada grande fornecedora de "wafers" de safira. Foi fundada em 1911. Pesquisa novos materiais e biotecnologia.
UNITED MINERAL & CHEMICAL CORP	D	
UNITED TECHNOLOGIES	A 60	UNITED TECHNOLOGIES CORP. - EUA. A subsidiária MOSTEK produz, além de fotomáscaras, componentes.
UNIVAR CORPORATION	61 D	UNIVAR CORPORATION - EUA. Produz solventes e ácidos.
VACUUM METALLURGICAL	D	VACUUM METALLURGICAL - Japão. Produz solventes e ácidos.
VARIAN ASSOCIATES	D	VARIAN ASSOCIATES - EUA. Produz metais para deposição. Veja quadro de empresas produtoras de equipamentos.
VAR-LAC-OLD CHEMICAL	D	
VEB KOMBINAT MIKRO ELEKTRONIK	D	VEB KOMBINAT MIKRO ELEKTRONIK = Alemanha Oriental. É um centro de pesquisa e desenvolvimento, produz e exporta componentes, bens de consumo eletrônicos, equipamentos para meteorologia, além de equipamentos especiais para engenharia elétrica e eletrônica. Pesquisa novos materiais.
VIRGINIA SEMICONDUCTOR	B	VIRGINIA SEMICONDUCTOR - EUA.
WACKER	62, 63, D, F B	WACKER - Alemanha. Tem subsidiária nos EUA (WACKER CHEMICAL CORP.). Produz silício policristalino, inclusive para células solares (através da WACKER HELIOTRONIC, na Alemanha) e outros compostos do grupo III-V.
WACKER-CHEMIE & HOECHST		WACKER-CHEMIE & HOECHST. A HOECHST possui 50% do capital desta empresa, que atua nos segmentos de materiais plásticos, silicões, solventes e produtos intermediários orgânicos. Tem subsidiária nos EUA (WACKER CHEMICAL CORP.) que por sua vez atua com a STAUFFER,

Empresas	Tipo de Materiais	Observações
WAKO PURE CHEMICAL INDUSTRIES	D	através da SWS, para produzir silicones. Produz silício policristalino inclusive para células solares (através da HELIOTRONIC, na Alemanha) e outros compostos do grupo III-V.
WESTINGHOUSE	B	WAKO PURE CHEMICAL INDUSTRIES - Japão. Produz solventes e ácidos.
W.R. GRACE & CO.	D, E, 64	W.R. GRACE & CO. - EUA. Originalmente empresa sul-americana, criada em 1854 para atuar no setor de comércio e transportes, passou a se diversificar, nos anos 40, entrando, nos anos 50, no segmento de especialidades químicas. Atualmente é um vasto conglomerado com atividades na indústria petroquímica, energética, matérias-primas, produtos alimentares, têxtil e serviços (restaurantes e lojas). Diversificou-se para a produção de materiais de grau eletrônico através da compra de várias empresas.

EMPRESAS ASSOCIADAS, SUBSIDIÁRIAS OU DIVISÕES:

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1 - ELECTRON BEAM LITHOGRAPHY GROUP | 11 - DEMETRON |
| 2 - COORS PORCELAIN | 12 - HYSOL DIVISION |
| 3 - PHOTOMASK MATERIALS GROUP | 13 - AEROCHEN |
| 4 - SILICON MATERIALS DIVISION | 14 - SMIEL SILICON PRODUCTS |
| 5 - J.T. BAKER | 15 - MORGAN SEMICONDUCTOR |
| 6 - ASHLAND CHEMICAL | 16 - GREAT WESTERN SILICON |
| 7 - MALLINKRODT | 17 - DELCO |
| 8 - KAWECKI BERYLCO CORP. | 18 - GENSIL |
| 9 - COMINCO ELECTRONIC MATERIALS | 19 - DEXCEL |
| 10 - HEMLOCK (DOW CORNING) | 20 - INLAND SPECIALTY CHEMICALS |

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 21 - HARRIS MICROWAVE SEMICONDUCTOR INC. | 43 - PHILIP A. HUNT CHEMICAL CORP. |
| 22 - GENERAL CHEMICAL | 44 - HI-PURE CHEMICALS INC. |
| 23 - HITACHI CHEMICAL | 45 - APACHE CHEMICALS INC. |
| 24 - HITACHI CABLE | 46 - CONSOLIDATED CLAD METALS |
| 25 - LIQUID CARBONIC | 47 - INDY ELECTRONICS (45%) |
| 26 - ICI MASKS | 48 - MONOGRAPHICS |
| 27 - ICI WAFER TECHNOLOGY | 49 - BARON BLAKESLEE |
| 28 - ELECTRONICS GROUP | 50 - SHIPLEY COMPANY (30%) |
| 29 - MASTER IMAGES | 51 - ELECTRO MATERIALS CORP |
| 30 - JOHNSON MATTHEY CHEMICALS | 52 - TOPSIL |
| 31 - NSK | 53 - TRANSMASK CORP. |
| 32 - MICROIMAGE TECHNOLOGY | 54 - TRINQUINT SEMICONDUCTOR |
| 33 - SOPRELEC S.A. | 55 - SILICON SLICE PRODUCTS DEPT. |
| 34 - COUTDOWN CLEAN SYSTEMS | 56 - TOSHIBA CERAMICS |
| 35 - AIRTRON | 57 - TOSHIBA SILICONE CO. |
| 36 - M/A COM LASER DIODE LABORATORIES INC. | 58 - ELECTROMASK |
| 37 - MC KESSON CHEMICAL | 59 - LINDS INDUSTRIAL GASES DIVISION |
| 38 - MEAD TECHNOLOGY | 60 - MOSTEK |
| 39 - MITSUBISHI METAL CORP. | 61 - VAN WATERS & ROGERS |
| 40 - MONSANTO ELECTRONIC MATERIALS | 62 - WACKER SILTRONIC (EUA) |
| 41 - VENTRON | 63 - WACKER CHEMTRONIC (RFA) |
| 42 - DYNACRAFT | 64 - METARAMICS |

FONTE: Elaboração própria a partir de:

- Electronic Materials Report, in: Electronic Business 15/05/86, p. 80. Electronic Business 01/05/87, p. 84.
- MII in: Electronic Business, 10/12/85, p. 42.

- Integrated Circuit Engineering - ICE Status, vários números.
- Dataquest Inc. in: Electronic Business 15/07/86, p. 63.
- Faibis, Laurent: Les Entreprises de Chimie Fine et de Spécialités dans le Monde, Collection Analyses de Secteurs: 3ème trimestre 1985.
- Electronics News, 16/03/81, in: Dieter, Ernst: Restructuring World Industry in a Period of Crisis - The role of Innovation - (an analysis of recent developments in the semiconductor industry), prepared for the Global and Conceptual Studies Branch Divisions for Industrial Studies, UNIDO Working Papers on Structural Changes, UNIDO, dezembro 1981.
- INIC: International Corporations in the International Semiconductor Industry, 1986, p. 89.
- Fortune, vários números.
- Business Week, vários números.

APÊNDICE
AO CAPÍTULO 4

APÊNDICE

AO CAPÍTULO 4

1968: Criação do Laboratório de Microeletrônica do Departamento de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LME/EPUSP), como resultado da implementação de um plano que visava a área de controle de processos e que envolvia a USP e a UnB, com apoio financeiro da FAPESP, BNDES e CNPq (1).

1974: Criação do Laboratório de Materiais de Grau Eletrônico do Setor de Materiais e Processos de Fabricação do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia

(1) Foi criado em 1968, tendo por origem o grupo que formou, em 1965, o Laboratório de Semicondutores do Departamento de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Entrou em funcionamento efetivo em 1970. Embora não tenha linha piloto, participou ativamente da transferência de tecnologia para a indústria nacional (TRANSIT), atividade esta que transcendeu o simples desenvolvimento de protótipo, já que a equipe do LME participou do projeto das instalações industriais da fábrica, acompanhou sua instalação e forneceu assessoria. O equipamento utilizado pelo LME foi em grande parte importado dos EUA e, em menor grau, da Europa e Japão. Apenas alguns equipamentos foram desenvolvidos no próprio laboratório, como o implantador de íons. Veja: Dados e Idéias, abril/maio 1978, Dados e Idéias maio 1981, Jornal da Microeletrônica julho 1984 e LME/EPUSP; A Microeletrônica no Brasil, São Paulo, 1979, mimeo. Para uma análise do que ocorreu com a TRANSIT, veja Macknight, Glory W.: A Indústria de Semicondutores Eletrônicos - Brasil, Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1982; mimeo, especialmente página 121 e seguintes.

da Universidade Estadual de Campinas (MGE/UNICAMP) (1), ampliação do Laboratório de Eletrônica e Dispositivos do Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual de Campinas (LED/UNICAMP) (2), apoio

(1) O MGE foi criado com o objetivo de pesquisar, desenvolver e formar recursos humanos na área de tecnologia de materiais de grau eletrônico, com ênfase inicial na obtenção e pré-purificação química do silício, a purificação até grau eletrônico do silício e outros materiais e a conformação de fios capilares de alta condutibilidade elétrica. O MGE projeta e constroi os equipamentos que utiliza no processamento de materiais, tendo construído o primeiro forno de fusão horizontal. Além do MGE, o Setor de Materiais e Processos tem laboratórios de Metalografia, Análise Química, Microscopia Ótica, Microscopia Eletrônica, Fabricação e Montagem, Solicitação de Metais e Ligas e Purificação por Fusão Zonal, que desenvolvem suas pesquisas específicas mas trabalham também em pesquisas conjuntas. Veja Dados e Idéias abril/maio 1978, Dados e Idéias junho 1981, Dados e Idéias fevereiro 1982, Dados e Idéias janeiro 1984 e LME/EPUSP, op. cit.

(2) A infra-estrutura do LED foi criada em 1974, com apoio financeiro inicial da TELEBRÁS e posteriormente, da FINEP, CNPq e instituições estrangeiras de pesquisa de ponta. Foi criado com o objetivo básico de formação de recursos humanos nas áreas de projeto de microcircuitos, construção de equipamentos de fabricação de componentes e de instrumentos de medida, além da implantação de um sistema de projetos e construção de circuitos integrados monolíticos. A fabricação própria dos equipamentos, se por um lado "faz com que os prazos de realização do projeto sejam muito mais dilatados do que se os equipamentos fossem importados", por outro trazem "a vantagem de se dispor de um grau de autonomia tecnológica consideravelmente maior". A filosofia básica do LED pode ser resumida na seguinte afirmação: "a decisão de restringir a fabricação de computadores no Brasil a empresas de controle acionário nacional, visando fixar a tecnologia no Brasil, só terá seus objetivos completamente concretizados caso a segunda geração de computadores brasileiros possa contar com componentes especialmente projetados e fabricados para ela, bem como se esses componentes puderem ser fabricados com ferramentas e equipamentos igualmente nacionais e que haja no país uma indústria nacional de insumos para fabricação de componentes". (Dados e Idéias, abril/maio 1978, grifo nosso). Veja também INFO, ano I nº 3, abril 1983 e LME/EPUSP, op. cit.

ao IME/EPUSP e ao Laboratório de Pesquisas em Dispositivos da Universidade Estadual de Campinas (LPD/UNICAMP) (1), tudo como resultado da implementação de um plano que visava a área de semicondutores (2).

1974: Data deste ano, também, o estabelecimento, por parte do governo, de uma política para o quartzo brasileiro, que visava três objetivos básicos: a maximização da receita cambial, advinda das exportações deste minério; o incentivo à industrialização interna; e a elaboração e apoio a um programa

(1) Sua origem foi um grupo formado no Instituto de Física da Universidade Estadual de Campinas, que tinha por objetivo estudar os fenômenos físicos envolvidos na operação de dispositivos semicondutores. Veja Dados e Idéias, outubro 1981.

(2) TELEBRÁS: Programa de Eletrônica e Dispositivos, 1974.

de capacitação de recursos humanos (1).

(1) Resumo da Política:

- 1974 - ago - suspensão temporária das exportações de quartzo em bruto e em lascas (Comunicado CACEX 486).
- set - estabelecimento de contingente global exportável de outubro a dezembro de 1974 de 600 toneladas; fixação de preço mínimo de US\$ 3,50/kg para todos os tipos de lascas; liberação das exportações de quartzo em bruto (Comunicado CACEX 489).
- out - instituição de quota de contribuição de 10% "ad valorem" incidente sobre os preços FOB de exportação de lascas, a ser destinado ao Fundo Nacional de Amparo à Tecnologia - FUNAT, para aplicação no desenvolvimento industrial e tecnológico do quartzo (resolução BACEN 302, regulamentada pelo Comunicado GECAM 245, de outubro de 1974).
- out - fixação de preços mínimos para as exportações de quartzo piezoelétrico (Aviso-Circular CACEX 163), alterado pelo Aviso-Circular CACEX 190, que também fixa preços mínimos para as exportações de quartzo-bijuteria.
- dez - limitação em 3500 toneladas o contingente exportável para 1975, dos quais 1000 toneladas de lascas de 1ª e o restante de 2ª e 3ª, aos preços fixados pela CACEX; a liberação poderia ser feita em quotas trimestrais ou semestrais (Resolução CONCEX 96).
- dez - elevação de 10% para 40% da quota de contribuição incidente nas exportações de lascas (Resolução BACEN 315).
- 1975 - jan - liberação da quota de exportação para o 1º semestre de 1975 (1000 toneladas, independentemente de classe ou qualidade de lascas); fixação de preços mínimos (US\$6,00/kg para lascas de 1ª, US\$ 3,50/kg para lascas de 2ª e US\$ 1,60/kg para lascas de 3ª). (Comunicado CACEX 501).
- jun - liberação, para o 2º semestre de 1975, do saldo do contingente exportável (Comunicado CACEX 514).
- 1976 - mar - fixação em 3000 toneladas o contingente exportável para 1976 (800 toneladas de lascas de 1ª, o restante de 2ª e 3ª); alteração dos preços mínimos (US\$ 6,00/kg para lascas de 1ª, US\$ 2,50/kg para lascas de 2ª e US\$ 1,00/kg para lascas de 3ª. (Comunicado CACEX 548).
- dez - redução para 20% a quota de contribuição incidente sobre os preços de exportação das lascas de 2ª e 3ª, mantendo em 40% a quota sobre as lascas de 1ª; extensão aos setores eletro-eletrônico e de pedras preciosas o uso dos recursos (Resolução BACEN 410).

1976-1977: Programa de Pesquisa e Desenvolvimento e Formação de Recursos Humanos na Tecnologia de Materiais de Grau Eletrônico, com sete diretrizes básicas: "i) colocar em operação unidades modulares para a produção de silício pré-purificado quimicamente a 99,999% e isento de boro, a partir de silício metalúrgico nacional com menos de 99% de pureza, via triclorosilano e por deposição; ii) colocar em operação as instalações necessárias à purificação final do silício a 99,99999%, via fusão zonal, a partir do silício pré-purificado quimicamente, além de outros materiais como gálio, índio, ouro, alumínio e estanho; iii) colocar em operação unidades duplas (extrusora e trefiladora) para a fabricação de fios capilares de cobre, ouro e alumínio (com 1% de silício), com diâmetros maiores que 50 micra; iv) projetar e construir, com recursos materiais e humanos nacionais, a maioria absoluta (acima de 80% em custo) dos equipamentos e instalações necessários ao atendimento das diretrizes anteriores; v) formar e treinar uma quantidade mínima de recursos humanos especializados na área, tanto a nível de pós-graduação como a nível de graduação e a nível técnico; vi) selecionar linhas de atuação para materiais cerâmicos e polímeros e propor seu desenvolvimento em outros pólos de P & D no país; vii) introduzir a problemática

(1) Continuação da nota anterior.

1979 - nov - redução para 10% a quota de contribuição incidente sobre os preços de exportação das lascas de 2ª e 3ª, e para 20% a quota sobre as lascas de 1ª (Resolução BACEN 578).
 1980 - out - eliminação da quota de contribuição incidente sobre os preços de exportação das lascas de qualquer qualidade (Resolução BACEN 645).

Fonte: Braga, Ruben: Subsídios para uma Política Nacional do Quartzo e do Silício, CETEC, dez 1986, mimeo, anexo V.

dos MGE nas searas convencionais de metalurgia e engenharia de materiais do país". O programa estava dividido em 4 fases: fase I - escala de laboratório (1977-80); fase II - escala pré-piloto (1980-83); fase III - escala piloto (1983-86); fase IV - escala de produção (1986-89) (1). A primeira fase foi cumprida com o desenvolvimento de um processo de obtenção de silício semicondutor a partir de matéria-prima nacional (silício metalúrgico de exportação), envolvendo a produção e purificação intermediária de triclorosilano, com suporte da TELEBRÁS, a um custo aproximado de US\$ 1 milhão (2); desenvolveu-se também um ante-projeto preliminar de uma instalação piloto para produção de 10 toneladas anuais que poderia, num prazo de três a quatro anos, transformar-se em projeto industrial para produção de 100 toneladas anuais.

(1) Estas datas parecem ter sido postergadas, uma vez que no prospecto original do Convênio, constavam como: fase I 1977-1980; fase II: 1980-82; fase III: 1982-84 e fase IV: 1984-1986.

(2) No período de 1977 a 1980 foram aplicados ao programa recursos equivalentes a mais de US\$ 2 milhões, sendo que cerca de 2/3 provenientes da TELEBRÁS e o restante da UNICAMP e FINEP. Até esta data o programa resultou em 17 patentes registradas, 12 teses de doutoramento e mestrado, 49 trabalhos publicados em periódicos especializados ou apresentados em congressos e simpósios, 16 relatórios técnicos, 40 cursos oferecidos a quase 800 alunos e treinamento de 6 técnicos e 15 estagiários de graduação. Veja também Dados e Idéias, dezembro de 1980, p. 59-65.

QUADRO 4.4: SÍNTESE DO PROGRAMA DE P & D E FRH NA TECNOLOGIA DOS MCE (1977-1989)

		Fase I		Fase II		Fase III		Fase IV	
		Escala de Laboratório		Escala Pré-Piloto		Escala Piloto		Escala de Produção	
		1977-1980		1980-1983		1983-1986		1986-1989	
Produção de Silício Pré-Purificado (99,999%) isento de boro, a partir de silício metalúrgico nacional		50-100 g/mês		5-10 kg/mês		50-100 kg/mês		5-10 ton/ano	
Purificação Final de Materiais > 99,999%	Silício	50-100 g/mês		5-10 kg/mês		50-100 kg/mês		5-10 ton/ano	
	Estanho	50-100 g/mês		100-500 g/mês		100-500 g/mês		> 500 g/mês	
	Alumínio								
	Gaio			100-500 g/mês		100-500 g/mês		> 500 g/mês	
	Indio								
Fabricação de Fios Capilares com φ < 50μ		5-10 km/mês		5-10 km/mês					
	Ouro	1-5 km/mês		50-100 km/mês		500-1000 km/mês		> 1000 km/mês	
	Alumínio			50-100 km/mês		500-1000 km/mês		> 1000 km/mês	
Características das Metas de P & D	Apropriação de Parâmetros In- dustriais	Qualidade		xxxx		xxxx		xxxx	
		Custo				xxxx		xxxx	
		Produção						xxxx	
Transferência de Tecnologia				xxxx		xxxx			
Área de Realização		Realizada em Área Universitária		Realizada em Área Industrial					
		4		7					
Níveis de formação e treinamento (Cu- mulativo)		4		14		20			
		5		25		50		80	
		9		30		60		120	

1978: Assinatura de um convênio entre o GEICOM e a DIGIBRÁS para fornecer subsídios às autoridades brasileiras para a elaboração de uma política nacional para os componentes semicondutores (1). No mesmo ano, realizou-se o 1º COMPEL (Seminário sobre Componentes Eletrônicos) (2), organizado pelo GEICOM e pela CAPRE (hoje extinta), sob o patrocínio da USP, do SERPRO e da FINEP, e que forneceu subsídios para a formulação de uma política para o setor de componentes eletrônicos, e, em particular, semicondutores.

1979: Apresentação de um Plano Nacional de Microeletrônica, como resultado de uma análise dos principais estrangulamentos da microeletrônica no Brasil, elaborado pelo LME/EPUSP. O Plano Nacional de Microeletrônica para o período de 1979-1984 (3) compreendia três atividades principais, cada uma delas subdividida em diversas ações paralelas: pesquisa e formação de recursos humanos (pesquisa básica feita em 10 laboratórios universitários (4), desenvolvimento de componentes a nível de protótipos e preparo de pessoal a níveis técnico, de graduação e pós-graduação); linhas piloto e produção sob demanda (no CPqD da TELEBRÁS e no IPT-SP, que deveriam produzir componentes que representassem algum valor comercial (5));

(1) Ver GEICOM/DIGIBRÁS: Componentes Semicondutores, junho 1978, mimeo. (não há referência a programas específicos para materiais e/ou equipamentos de processamento).

(2) Ver Dados e Idéias, abril/maio 78, p. 2-8.

(3) LME/EPUSP: A Microeletrônica no Brasil, São Paulo, fev. 1979, mimeo.

(4) O Plano previa a criação de quatro novos laboratórios.

(5) O IPT havia proposto à FINEP cinco linhas piloto, dentre elas duas para geração de insumos (monocristais de silício e fotomáscaras), capazes de suprir as necessidades nacionais por vários anos.

QUADRO 4.5: PLANO NACIONAL DE MICROELETRÔNICA (1979-1984)
(US\$ milhões)

Atividade	Investimentos Brasileiros em Microeletrônica							Investimento c/Importação 79-84	Investimentos Nacionais 79-84
	1979	1980	1981	1982	1983	1984	Total 79-84		
A. Pesquisa e Formação de Pessoal									
A.1 Pesquisa									
LME/USP atual	2	2	2	2	2	2	12	3	9
VLSI			1	0,5	0,5		2	2	0
LED/UNICAMP	0,8	0,8	0,9	0,9	1	1	5,4	1,5	3,9
Outros	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	3	0,5	2,5
Laboratório 1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,7	0,2	0,5
Laboratório 2	-	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6	0,2	0,4
Laboratório 3	-	-	0,2	0,1	0,1	0,1	0,5	0,2	0,3
Laboratório 4	-	-	-	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2	0,2
A.2 Formação de Pessoal									
EPUSP	1	1	1	1	1	1	6	0,2	5,8
LED	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5	-	2,5
Outros	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5	-	2,5
Subtotal A	4,5	5,6	6,8	6,4	6,4	5,9	35,6	8,0	27,6
B. Linhas Piloto e Pro- dução sob Demanda									
Instituto de Pesqui- sas Tecnológicas (IPT)	2	2,4	1,7	1,9	2,2	2,2	12,4	4	8,4
CPQD (Telebrás)	1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	13,5	6	7,5
Subtotal B	3	4,9	4,2	4,4	4,7	4,7	25,9	10	15,9
C. Indústrias									
TRANSIT	4	4	4	4	-	-	16	-	16
Fábrica de Diodos de Potência e Tiristores	1	2	1	0,5	0,5	-	5	4	1
Fábrica de C.I.lineares	1	3	1	0,5	0,5	-	6	5	1
Fábrica de C.I.digitais	1	3	1	0,5	0,5	-	6	5	1
Autel (C.I. Híbridos)	1	1	1	1	-	-	4	1	3
Subtotal C-	8	13	8	6,5	1,5	-	37,0	15	22
Total A+B+C	15,5	23,5	19	17,3	12,6	10,6	98,5	33	65,5

FONTE: LME/EPUSP: A Microeletrônica no Brasil, São Paulo, fevereiro 1979, mimeo.

indústrias (apoio financeiro e tecnológico à TRANSIT, incentivo à criação de novas empresas nacionais (1) e transferência de tecnologia desenvolvida pelo LME à AUTEL), com investimentos de US\$ 98,5 milhões, dos quais US\$ 33 milhões seriam gastos em importação de equipamentos e insumos básicos.

1979: No mesmo ano, o GEICOM apresentou um Plano Diretor de Semicondutores (2), para o período 1980-82, elaborado por solicitação do Ministério das Comunicações com a participação de membros da FINEP, USP, UNICAMP, GEICOM, INPE, DIGIBRÁS, CNPq, IME, TELEBRÁS, CDI, TRANSIT, EMBRAMEC, EMFA e CTA, com o objetivo de "assegurar à Nação, no menor prazo possível, controle decisório e pleno domínio científico e tecnológico de todos os segmentos do setor de semicondutores, seus insumos e bens de capital; ocupar imediatamente segmentos estratégicos do mercado de semicondutores com empresas nacionais (3), criando condições para que parcelas significativas e crescentes desse mercado sejam supridas por essas empresas; criar condições favoráveis ao desenvolvimento autônomo, no país, de indústrias voltadas para os setores que dependam estrategicamente do Setor de Semicondutores, como Telecomunicações, a Informática, a Energia, a Instrumentação, o

(1) Propunha-se a criação de novas empresas em 1979, com início das operações (pelas etapas finais) previsto para 1981 e a transferência, para a indústria, dos processos de difusão, a partir de 1983. As novas empresas deveriam ser de pequeno porte e especializadas por tipo de componentes.

(2) GEICOM: Plano Diretor de Semicondutores, 1979, mimeo.

(3) Entendidas como "as de capital e controle decisório exclusivamente nacionais".

• Controle, as Indústrias Bélicas e as Atividades Espaciais; e promover, organizar e ampliar a atuação da comunidade científica e tecnológica do Setor de Semicondutores", com investimento total, para execução, orçado em aproximadamente US\$ 9,7 milhões, para um período de três anos. O Plano propôs a criação de uma Coordenação Geral, exercida inicialmente pelas entidades que o elaboraram, com a atribuição inicial de elaborar uma proposta de Órgão Coordenador Geral do Sistema, cuja função seria a de "coordenar as ações das diversas entidades intervenientes", gerir o Fundo Nacional de Desenvolvimento de Semicondutores (1), "exercer uma efetiva e continuada ação de planejamento, através de planos setoriais bienais", além de fornecer subsídios no que se refere à política tecnológica (PND, PNCT e PBDCT) e evitar soluções de continuidade em grupos de pesquisa.

1979: Criação da Secretaria Especial de Informática - SEI (Decreto 84.067 de 08/10/79), com o objetivo de "assessorar na formulação da Política Nacional de Informática e coordenar sua execução como órgão superior de orientação, planejamento e fiscalização, tendo em vista, especialmente, o desenvolvimento científico e tecnológico no setor". O mesmo decreto extinguiu a CAPRE (2). As atribuições específicas

(1) A constituição do fundo deveria receber contribuições, entre outros, do FDAE (Fundo de Desenvolvimento de Áreas Estratégicas), do FNDCT (Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e do FNT (Fundo Nacional de Telecomunicações).

(2) A CAPRE - Comissão de Coordenação de Processamento Eletrônico-havia sido criada pelo Decreto 70.370 de 05/04/72, inicialmente com a incumbência de racionalizar o uso de equipamentos de processamento de dados (computadores) na administração pública federal, e posteriormente recebendo a atribuição de controlar importações de computadores, peças e componentes, tornando-se órgão responsável pelo planejamento e coordenação das atividades do setor de informática.

QUADRO 4.6: PLANO DIRETOR DE SEMICONDUTORES (1980-1982)
(Cr\$ 10⁶)¹

Segmentos/Rede	1980	1981	1982	Total	% em Relação ao Total
Coordenação Geral	35	35	35	105	3,3%
Produção Industrial e Comercialização	400	650	310	1.360	42,4%
Formação de Recursos Humanos e Suporte Científico e Tecnológico	490	600	570	1.660	51,8%
Divulgação e Intercâmbio de Informações	5	5	5	15	0,5%
Projetos Assistidos por Computador	20	20	20	60	2,0%
Total	950	1.310	940	3.200	100,0%

Nota: 1 - cruzeiros de janeiro de 1980 (US\$ 1: Cr\$ 33.0)

FONTE: GEICOM. Plano Diretor de Semicondutores, setembro 1979, mimeo.

da SEI foram regulamentadas pelo Decreto 84.266 de 05/12/79.

1980: Criação da Comissão Especial de Microeletrônica - CEM, pela portaria 002 da SEI, para "formular políticas e diretrizes, no setor de microeletrônica, com vistas à capacitação nacional na pesquisa e produção de insumos básicos e materiais de processamento, de microcircuitos e equipamentos de laboratório e industriais e de componentes eletromecânicos, semicondutores e outros afins ao setor" (1), composta de representantes da SEI, DIGIBRÁS, TELEBRÁS, BNDES, FINEP, ELETROBRÁS, TRANSIT e cinco representantes da comunidade científica no setor de microeletrônica. Foram formados 6 grupos de trabalho, um dos quais específico para o segmento de insumos (GT-5, coordenado por Maurício Prates Campos Filho, da UNICAMP), cujos relatórios e recomendações subsidiaram a elaboração do Plano Nacional de Microeletrônica. Na primeira parte do relatório, que descreve a situação geral do setor a nível internacional e no Brasil (2), conclui-se que o Brasil pode entrar efetivamente no setor, desde que seja capaz de tirar proveito de uma das "características industriais", segundo a qual "pequenas firmas, com a flexibilidade e a criatividade necessárias num setor tão dinâmico como o de semicondutores ... [conseguem] ... emergir e viver no meio

(1) SEI - Relatório Final da Comissão Especial de Microeletrônica, Subsecretaria de Atividades Estratégicas, Comissão Especial de Microeletrônica, Brasília, julho 1980, mimeo.

(2) Elaborado inteiramente na SEI; a segunda parte, referente à necessidade, objetivos e recomendações de política para o setor de microeletrônica, é resultado dos trabalhos realizados pela CEM.

dos ... gigantes do setor" (1). No que se refere à tecnologia, ou à pesquisa e desenvolvimento, o relatório reconhece que "as características dos processos de fabricação de semicondutores, um conjunto de operações físico-químicas, dependem substancialmente dos equipamentos em que serão realizados, do controle de processos, dos insumos utilizados e até dos operadores dos equipamentos" (2) e que "a redução das dimensões dos dispositivos ... [depende] ... dos equipamentos que permitam gravar geometrias cada vez mais reduzidas, dos processos físico-químicos e características elétricas dos dispositivos e das microestruturas dos materiais e dispositivos", sendo que "nenhum desses esforços de P & D precisa, necessariamente, ser feito nas indústrias, porém precisam ser

(1) SEI: op. cit., p. 75. O dinamismo a que se faz referência é o surgimento de "alterações significativas no modo do envolvimento entre os fabricantes de semicondutores e os fabricantes de equipamentos" (p. 14), ou o fato de que "se dispõe de uma solução (o elevado nível de integração possível numa pequena área de silício) e poucas situações em que se possa aplicar totalmente essa solução ... [de modo que isso induza] ... a uma aproximação cada vez mais intensa entre fabricantes de componentes semicondutores, particularmente os de circuitos integrados, e os fabricantes de equipamentos ... [o que impõe o surgimento] ... de novos circuitos extremamente especializados, que não podem mais ser considerados de uso geral" (p. 16). A nível internacional, esta tendência tem gerado, por um lado, a crescente verticalização da indústria e, por outro, o surgimento de pequenas empresas produtoras de circuitos integrados de aplicação específica (os ASICs). É para este "nicho" que o Brasil deveria dirigir seus esforços. O relatório sugere ainda que "a viabilização da indústria nacional de microeletrônica exige uma escala mínima de produção ... [que] ... no caso do Brasil ... só será alcançada se a indústria de microeletrônica atender, além do mercado de informática, também os de equipamentos de telecomunicações, instrumentação, controle, supervisão e entretenimento" (p. 38) além da aplicação de "fortes subsídios, incentivos ou proteção de forma direta ou indireta, às atividades de formação de recursos humanos, de pesquisa, de desenvolvimento, fabris e comerciais" (p. 38-39).

(2) Idem, ibidem, p. 24.

feitos" (1).

1981: O Decreto 85.790 de 06/03/81 atribuiu à SEI competência para orientar, planejar, supervisionar e fiscalizar, em articulação com os órgãos específicos, "a coordenação da pesquisa, do desenvolvimento e da produção de componentes eletrônicos e semicondutores, optoeletrônicos e assemblhados, bem como de seus insumos", além da elaboração e execução do Plano Nacional de Microeletrônica. Este mesmo decreto cria o GAM - Grupo de Assessoramento de Microeletrônica, para dar suporte à SEI no planejamento e implantação dos programas e projetos do setor de microeletrônica (2).

1981: Em agosto de 1981 assina-se um contrato entre a SEI e a FUNCAMP - Fundação para o Desenvolvimento da Universidade de Campinas - para a elaboração de um plano diretor para a implantação de um Instituto de Microeletrônica ligado à SEI.

1981: Ainda em 1981, em setembro, a SEI seleciona os grupos nacionais DOCAS e ITAÚ para a produção de circuitos integrados digitais, sob a proteção da reserva de mercado, para apresentação de projetos detalhados (comunicado SEI 04/81 de 08/09/81).

(1) Idem, ibidem, p. 25.

(2) O GAM produziu dois relatórios que subsidiaram o Plano Nacional de Microeletrônica, como parte integrante do I Plano Nacional de Informática e Automação. Veja GAM: Subsídios para a Formulação de uma Política Nacional de Microeletrônica, 06/11/84 e GAM: Contribuição para a Definição de um Plano Básico para as Atividades de Pesquisa, Desenvolvimento e Formação de Recursos Humanos em Microeletrônica, s.d.

1982: Ampliação da autonomia administrativa da SEI (1) e criação do Centro Tecnológico para a Informática, dotado de autonomia administrativa e financeira, com o objetivo de "promover o desenvolvimento da pesquisa científica e tecnológica do setor de informática" (2).

1982: No mesmo ano concluiu-se o relatório final do GEICOM, para a área de componentes e insumos, e que serviria de subsídio para a redação da Ação Programada do III PBDCT (3). Especificamente para o segmento de quartzo, o

(1) Decreto 87.890 de 23/12/82.

(2) Decreto 88.010 de 30/12/82. Ao CTI caberiam as seguintes tarefas: "indução e apoio à introdução das tecnologias de informática no processo produtivo, incentivo e coordenação da pesquisa científica e tecnológica em centros universitários, visando ao trabalho conjunto entre as universidades e a indústria; promoção do desenvolvimento tecnológico até a obtenção de protótipos, em condições de atendimento às necessidades da indústria; e o acompanhamento dos programas de nacionalização dos produtos do setor". Veja Silva, Ana Lucia Gonçalves da: A Indústria de Componentes Eletrônicos Semicondutores: Padrão de Concorrência Internacional e Inserção no Brasil. Dissertação de mestrado, Instituto de Economia da UNICAMP, Campinas, 1985, mimeo, p. 179.

(3) GEICOM: Ação Programada do III PBDCT - Proposição do GT-2 (componentes e insumos) - Relatório Final, 1982, mimeo. O trabalho do GT-2 abarcava os segmentos de microeletrônica, optoeletrônica, cristais líquidos, quartzo e circuitos impressos; posteriormente foi incluído o segmento de células solares. Para o segmento de microeletrônica, (circuitos integrados de silício, circuitos híbridos, dispositivos de semicondutores compostos e outros), o relatório constatou, dentre outras dificuldades, uma "infra-estrutura incipiente de apoio ao setor, traduzida pela ausência de fabricação nacional da maioria dos equipamentos, instrumentos e insumos necessários, pela ausência de empresas com experiência em instalações e manutenção de laboratórios de microeletrônica, pela ausência de estruturas e mecanismos gerenciais e administrativos consistentes com a dinâmica do setor, etc" (p. 11) e definiu como uma das prioridades "o estabelecimento de projeto de obtenção, em nível de linha piloto, de silício de elevada pureza". (p. 12).

relatório definiu como prioridade a coordenação geral dos programas de pesquisa envolvendo o silício e o quartzo no Brasil (que estavam sendo desenvolvidos através de esforços isolados por parte das universidades e centros de pesquisa), bem como a ênfase em pesquisa e desenvolvimento do quartzo para: "a) utilização em semicondutores, de acordo com a política nacional de microeletrônica; b) utilização em fibras óticas; c) utilização em fundidos de quartzo; d) beneficiamento de areias silicosas e quartzozas; e) utilização do silício em ligas metálicas" (1). Para tanto, o GEICOM propôs, como ações de fomento: "a) racionalizar a atividade de mineração, evitando ou impedindo a lavra predatória, a fim de preservar nossas reservas para uma possível demanda mundial crescente; b) montar indústrias para a moagem e purificação das areias quartzozas e silicosas, utilizando equipamentos e componentes disponíveis no mercado nacional, bem como desenvolver técnicas e processos apropriados de obtenção e purificação da areia, de acordo com normas exigidas no mercado internacional; c) dar preferência à exportação de areias beneficiadas à de areias puras; d) dar preferência à exportação de cristais cultivados (crescidos) à de cristais naturais; e) racionalizar a exportação de lascas de forma que possam atingir preço mais elevado que o atual, tomando em considera-

(1) GEICOM: op. cit., p. 35. O GEICOM apoiou-se num documento denominado "Diagnóstico do Quartzo", elaborado por um Grupo de Trabalho Interministerial criado pela STI - Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e Comércio, e que foi incluído, quase integralmente, no anexo 19 da Ação Programada em Ciência e Tecnologia; vol. 17 - Comunicações, Eletrônica e Informática, sob o título "Considerações sobre o Quartzo e Produtos dele Derivados - Tendências".

ção que embora o Brasil detenha 93% das reservas mundiais, existem grandes estoques do produto nos países que o utilizam e que regulam os preços, impedindo uma elevação súbita dos preços se suspendermos as exportações; f) proporcionar meios para a produção de lâminas de quartzo cultivado para cristais osciladores, buscando tornar-se um grande fornecedor mundial; g) investir no desenvolvimento de técnicas de orientação dos diferentes planos, corte, ajuste final e encapsulamento para fabricação de transdutores de quartzo; h) implementar a política nacional de microeletrônica, no que diz respeito ao quartzo; i) incentivar a fabricação de fundidos de quartzo e vidro ótico no Brasil através do estímulo à pesquisa e do desenvolvimento de produtos com eles relacionados e fomentar as atuais indústrias de vidro existentes no país a desenvolver por conta própria ou em convênio com institutos de tecnologia, a tecnologia do quartzo fundido; j) iniciar restrições às importações através de uma política tarifária capaz de estimular a fabricação dos produtos do quartzo no Brasil" (1).

1983: Assinatura de acordo entre o CTI e a BURROUGHS, que vende sua divisão de encapsulamento de circuitos integrados, transferindo-a para as instalações do CTI; esta transferência inclui o "hardware", o "know-how" e pessoal (2).

(1) GEICOM: op. cit., p. 36-37.

(2) Veja INFO, ano I, nº 9, outubro 1983, p. 36-44.

1984: Aprovação, pelo Congresso Nacional, da Lei de Informática (Lei 7.232 de 29/10/84), que "estabelece princípios, objetivos e diretrizes da Política Nacional de Informática, seus fins e mecanismos de formulação, cria o Conselho Nacional de Informática e Automação - CONIN, dispõe sobre a Secretaria Especial de Informática - SEI, cria os Distritos de Exportação de Informática, autoriza a criação da Fundação Centro Tecnológico para a Informática - CTI, institui o Plano Nacional de Informática e Automação e o Fundo Especial de Informática e Automação" (1). O CONIN, vinculado diretamente à Presidência da República e formado por Ministros de Estado e representantes de vários segmentos, ficou responsável pela proposição do Plano Nacional de Informática e Automação - trienal - e pelo estabelecimento e acompanhamento das normas de procedimento de acordo com o Plano; à SEI, subordinada ao CONIN (e não mais ao Conselho de Segurança Nacional), coube a elaboração e execução do Plano Nacional de Informática e Automação, bem como analisar e decidir sobre os projetos de desenvolvimento e produção de bens de informática.

(1) A Lei define como atividades de informática, no seu artigo terceiro: "I - pesquisa, desenvolvimento, produção, importação e exportação de componentes eletrônicos a semicondutor, optoeletrônicos, bem como os respectivos insumos de grau eletrônico; II - pesquisa, importação, exportação, fabricação, comercialização e operação de máquinas, equipamentos e dispositivos baseados em técnica digital, com função técnica de coleta, tratamento, estruturação, armazenamento, comutação, recuperação e apresentação de informação, seus respectivos insumos eletrônicos, partes, peças e suporte físico para operação; III - importação, produção, operação e comercialização de programas para computadores e máquinas automáticas de tratamento da informação e respectiva documentação técnica associada ('software'); IV - estruturação e exploração de bancos de dados; V - prestação de serviços técnicos de informática".

1984/87: O Programa de Microeletrônica para os Laboratórios Universitários foi definido com base nas Diretrizes do Conselho Político FINEP/TELEBRÁS/SEI, ouvido o Conselho Tecnológico de Microeletrônica (1). Este programa definiu oito metas, cada uma com um Subcoordenador e uma Comissão Assessora: 1) Otimização de Investimentos Universitários em Microeletrônica e Elaboração de Propostas para o período 1984/88; 2) Ampliação da Capacitação de Projetos de Sistemas Inteáveis; 3) Ampliação da Capacitação em Processos de Confeção de Circuitos Integrados; 4) Aplicação de Novos Materiais (2), Processos e Novas Estruturas em Microeletrônica; 5) Disseminação da Capacidade de Projeto de Microcircuitos; 6) Capacitação na Obtenção de Insumos Básicos para a

(1) A estruturação do Programa teve início em março de 1983, data em que foi criado o Conselho Político, constituído por representantes da FINEP, da TELEBRÁS e da SEI, com a responsabilidade pelas decisões de orçamento e apreciação de projetos universitários em microeletrônica que dependessem de apoio financeiro da FINEP, com o objetivo de se "alcançar um funcionamento ordenado, eficiente e continuado dos laboratórios universitários, cujos programas de atividades deveriam estar adequadamente integrados no esforço nacional no setor de microeletrônica". Na mesma data criou-se o Conselho Tecnológico, presidido pelo diretor do Instituto de Microeletrônica do CTI, com as funções de avaliar a situação, propor medidas gerais e analisar tecnicamente os projetos propostos pelos laboratórios universitários, assim como acompanhar sua execução e decidir sobre o prosseguimento de cada projeto. Durante o ano de 1983 foram realizadas inúmeras reuniões preparatórias com a participação de todas as entidades envolvidas.

(2) Foram considerados novos materiais tanto aqueles desconhecidos como aqueles que, embora conhecidos, não são convencionalmente empregados em microeletrônica; a pesquisa neste segmento incluía tanto novos processos de obtenção de materiais e/ou de caracterização de suas propriedades, quanto a adequação dos processos de obtenção já existentes.

Microeletrônica (1); 7) Capacitação de Projeto, Confecção e Caracterização de Dispositivos de Potência; 8) Desenvolvimento e Implantação de Técnicas de Medida para a Microeletrônica.

1985/87: Em conjunto com o Plano de Microeletrônica/Laboratórios Universitários, foi formulado o Plano Básico de Pesquisa e Desenvolvimento e Formação de Recursos Humanos em Microeletrônica, para o triênio 85/87, "composto por um conjunto de programas a serem realizados de maneira harmônica e cooperativa por entidades industriais, de pesquisa e desenvolvimento, universidades e escolas técnicas de grau médio", estabelecido a cada três anos e avaliado anualmente. Este Programa incorporava o Programa de Microeletrônica/Laboratórios Universitários, que seria tomado como ponto de partida para o primeiro período de vigência. Os programas que o compunham eram: 1) Coordenação do Plano Básico; 2) Programa de Implantação dos Setores de P & D nas Empresas; 3) Programa de Complementação da Infra-estrutura de Operação das Entidades de P & D; 4) Programa de Revitalização do Esforço Universitário e de Formação

(1) Incluía-se neste tópico: materiais semicondutores (como silício e materiais compostos), produtos químicos (para limpeza de lâminas, para corrosão e dopantes), material para fotolitografia, para encapsulamento, para polimento, metais (metalização de lâminas, fios capilares e pentes de terminais), gases puros e ultrapuros, além de materiais auxiliares. É interessante notar que o quartzo (navetas para transporte de lâminas, tubos de difusão, reatores, etc), estava incluído no sub-item "materiais auxiliares" e que, na ordem estabelecida, foi considerado como de terceira prioridade (num total de 4). Na primeira fase do programa, foram realizadas atividades nos seguintes sub-itens desta meta: obtenção de silanos (pelo MGE), produção de silício policristalino (pelo MGE e pelo CETEC), obtenção de cristais e lâminas de silício (pelo LME e pelo MGE) e outros materiais (MGE).

QUADRO 4.7: QUADRO-RESUMO DAS ENTIDADES PARTICIPANTES DO PROGRAMA DE MICROELETRÔNICA/LABORATÓRIOS UNIVERSITÁRIOS E DO PLANO BÁSICO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO E FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS EM MICROELETRÔNICA

Entidades	ORIN	US\$	Laboratórios Universitários								Recursos Humanos em Microeletrônica																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
			Programas:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
SEI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											</

Observação: Os valores em dólares referem-se à importação de material de consumo, equipamentos e material permanente; os valores em ORINs referem-se a pessoal, diárias, material de consumo nacional, serviços de terceiros, obras, material permanente nacional, equipamentos nacionais e obrigações patronais.

ORÇAMENTO ANUAL PARA A 1ª FASE DO PLANO BÁSICO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO E FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS EM MICROELETRÔNICA

	1983	1984	1985	Total
ORIN	51.923	491.044	203.299	746.266
US\$ (importações)	121.000	1.612.884	545.573	2279.457
Total (em ORINs)	66.404	684.064	268.590	1019.058

QUADRO 4.8: PROGRAMA DE MICROELETRÔNICA/LABORATÓRIOS UNIVERSITÁRIOS - QUADRO RESUMO DOS RECURSOS
(TRIÊNIO 1985-1987)- RECURSOS DO GOVERNO

ORIN

Grupo de Aplicação	Período Orçado			Triênio 1985-1987
	1985	1986	1987	
Formação de Recursos Humanos	490.000	490.000	490.000	1.470.000
Aquisição de Equipamentos	250.000	450.000	500.000	1.200.000
Obras Instalações	50.000	50.000	-	100.000
Projetos Específicos				
- Concepção de CI'S	30.000	30.000	30.000	90.000
- Processos de CI'S	50.000	100.000	100.000	250.000
Qualidade de Confiabilidade				
- Rede Nacional de Microcircuitos	50.000	100.000	100.000	250.000
	30.000	30.000	30.000	90.000
Total	950.000	1.250.000	1.250.000	3.450.000

Observações: Os projetos específicos compreendem projetos que estão sendo estudados pelo CII, para um programa envolvendo as Universidades e as empresas nas áreas:

- concepção de CI'S: - Desenvolvimento de software aplicativo
- Projetos de CI'S específicos
- Capacitação de Projetistas de CI'S
- Processos de CI'S: - Desenvolvimento e estudo de processos CMOS
- Pesquisa de novos materiais
- Pesquisa em componentes e processos sub-micron
- Processos de fotografação para estruturas micrônicas e submicrônicas

Qualidade e Confiabilidade:

- Análise de falhas
- Qualificação e homologação

FONTE: GAM: Contribuição para a Definição de um Plano Básico para as Atividades de Pesquisa, Desenvolvimento e Formação de Recursos Humanos em Microeletrônica, s.d., mimeo.

de Recursos Humanos; 5) Programa de Ampliação da Capacitação em Projetos de Sistemas Integráveis; 6) Programa de Ampliação da Capacitação em Confeção de Circuitos Integrados; 7) Programa Avançado de P & D; 8) Programa de Capacitação para Obtenção de Insumos Básicos de Microeletrônica (1); 9) Programa de Capacitação no Projeto, Confeção e Caracterização de Dispositivos de Potência; 10) Programa de Metrologia para Microeletrônica; 11) Programa de Desenvolvimento de Técnicas de Aferição e Garantia de Qualidade; 12) Programa de Técnicas de Confiabilidade e Análise de Falhas; 13) Programa de Técnicas de Produção Industrial para Microeletrônica; 14) Programa de Equipamentos e Instrumentos para Microeletrônica (2); 15) Programa de Iniciação Científica.

1985: Terminou-se a elaboração, em meados de 1985, do Plano Nacional do Quartzo e do Silício, com participação da SEI, UNICAMP, STI/MIC, BNDES, CETEC, ABC Xtal, USP, SID MICROELETRÔNICA, INDI, HELIODINÂMICA e COETEL, que tinha por objetivo a "industrialização de recursos naturais exis-

(1) Subprograma: silício monocristalino/semicondutor, sob responsabilidade do Laboratório de MGE da UNICAMP.

(2) Subprogramas: sistema de pós-aceleração até 150KV (LED/UNICAMP), sistema automático de medidas (LME/EPUSP), dosímetro para implantador iônico com centrador de feixe isolado para 150KV (LED/UNICAMP), remodelamento do sistema de pulverização catódica (LED/UNICAMP), construção de um laser de nitrogênio (LED/UNICAMP), remodelamento do reator epitaxial (LED/UNICAMP).

tentes no país na forma de jazidas de quartzo (dióxido de silício) e sua posterior exportação", buscando participar de um mercado avaliado, à época, em US\$ 150 bilhões anuais (1) , composto de uma vasta linha de produtos (2) . A industrialização previa a produção de quartzo sintético (barras de quartzo cultivado, lâminas cortadas e componente final encapsulado - o cristal oscilador), quartzo fundido (tubos, barras e lâminas de quartzo fundido) e silício (silício metalúrgico, silício policristalino e silício monocristalino). Ressaltava-se que apenas os produtos de quartzo fundido e o silício ainda não eram industrializados, embora existissem pesquisas em desenvolvimento. Por isso, propunha-se a importação da tecnologia e dos equipamentos necessários à montagem de plantas piloto para estes produtos. O Plano previa a formação de uma equipe coordenadora, da qual faria parte um representante de cada instituição julgada de interesse ao plano e que já estivesse envolvida em trabalhos de desenvolvimento tecnológico, já que estas atividades vinham sendo desenvolvidas de forma descoordenada.

(1) Destes US\$ 150 bilhões, 30% (US\$ 45 bilhões) correspondem ao conteúdo do material usado na fabricação dos produtos; 80% deste material (US\$ 36 bilhões) são de natureza ótica ou eletrônica; em média, os derivados do quartzo participam em 10%, o que corresponde a um mercado de US\$ 3,6 bilhões.

(2) São eles: componentes de estado sólido, cristais osciladores, filtros a cristal, circuitos de onda de superfície, transdutores eletroacústicos, transdutores optoeletrônicos, fibras óticas, bifurcadores óticos, multiplexadores óticos, codificadores óticos, acopladores óticos, vidros especiais para bulbos e cinescópios, cerâmicas opacas especiais, filtros óticos, lentes, espelhos, polarizadores, prismas, leitores óticos e dopantes para metalurgia. O mercado brasileiro foi avaliado, pelo GEICOM, em 2% do mercado mundial de derivados do quartzo, ou seja, o equivalente a US\$ 72 milhões. Veja SEI: Plano Nacional do Quartzo, Brasília (mimeo); GEICOM: Ação Programada do III PBDCT - Proposição do GT-2 (Componentes e Insumos) - Relatório Final, 1982, mimeo, Data News, 30/04/85, p. 4 e Jornal da Microeletrônica, maio 1985, p. 5.

1985: Também em 1985 foi enviada à Câmara dos Deputados um projeto de lei (1) que instituiu o Programa Nacional do Quartzo, cujos objetivos eram: "estimular a exploração das jazidas conhecidas e a descoberta de novos depósitos em todo o território nacional; fomentar o desenvolvimento da tecnologia mineral do quartzo, sobretudo da tecnologia de lavra, classificação e beneficiamento da substância; incentivar o aproveitamento industrial do quartzo; criar mecanismos para o incremento das exportações nacionais de produtos industrializados que utilizam o quartzo como matéria-prima; direcionar os esforços da política setorial no sentido de harmonizá-los com as metas da política nacional de informática, de que trata a Lei 7.232 de 29 de outubro de 1984". Na justificativa, ressalta-se o fato de que o país é detentor de cerca de 95% das reservas mundiais de quartzo, participando em 65% como supridor do mercado internacional, tendo exportado 52,8 toneladas no período 1973/83 (das quais as lascas foram responsáveis por 99% do total em peso e 96% em valor), equivalentes a US\$ 70,8 milhões, enquanto que as importações de quartzo industrializado (em forma de lentes, osciladores, filtros, silicones e "chips"), apenas em 1982, montaram a US\$ 280 milhões. Ressalta ainda os esforços desenvolvidos pelo CETEC (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais) e pela TELEBRÁS em convênio com a UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas) no sentido de alcançar o domínio completo da tecnologia do quartzo, desde a fabricação do quartzo cultivado até a purificação do silício monocristalino de grau eletrônico, e

(1) Projeto de lei nº 5.520-A, elaborado em maio de 1985.

propõe que "a definição de metas específicas de produção, exportação e industrialização do quartzo ... [seja] ... feita em consonância com as diretrizes constantes dos planos nacionais de desenvolvimento, especialmente do PND, do III Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (III PBDCT) e do II Plano Mestre Decenal de Mineração". Quanto aos recursos, estes deveriam constar da proposta orçamentária da União, ficando sob supervisão da Secretaria de Planejamento da Presidência da República.

1986: Em abril deste ano, foi lançado o I PLANIN (1985/87), pela Lei 7.463 de 17/04/86, embora o Decreto 92.187, de 20/12/85 já tivesse aprovado o regulamento para a concessão de incentivos fiscais previstos nos artigos na Lei de Informática (artigos 13 a 15 da Lei 7.232), para entrar em vigor em 1º de janeiro de 1986. Foram estabelecidos como objetivos do PLANIN a "capacitação nacional nas atividades de informática, visando o aumento do grau de autonomia, tanto nas definições e nos rumos do processo de informatização da sociedade, como na formulação das diversas políticas nacionais: econômica, industrial, tecnológica e de defesa nacional, entre outras ...; o aumento da produtividade da economia brasileira ... através da modernização e adequação do setor produtivo ...; e o bem-estar social da população brasileira ... [através do] ... aprimoramento dos serviços sociais básicos, nas áreas de educação, saúde, transportes, justiça, segurança pública, assistência e previdência, abastecimento e outras". A estratégia de ação foi definida, no plano interno, pela atuação integrada nos campos do uso e da produção de bens e serviços, das atividades de pesquisa e de-

• desenvolvimento e da formação e desenvolvimento de recursos humanos em informática e automação; no plano externo, pela sustentação e salvaguarda da Política Nacional de Informática, pela definição de programas de cooperação tecnológica de interesse do país e pela colocação de bens e serviços nacionais de informática no mercado externo (1).

1986: Uma portaria do Ministério da Ciência e Tecnologia cria o Núcleo de Estudos e Planejamento em Novos Materiais - NMAT, instalado no Instituto Nacional de Tecnologia, com as atribuições de "assessorar e subsidiar o Ministério de Ciência e Tecnologia, no que se refere à definição de políticas especiais para a área de novos materiais" (2).

(1) Para uma visão geral dos incentivos fiscais às empresas nacionais de informática (incluindo o segmento de microeletrônica), estabelecidos pela Lei 7.232 de 29/12/84 (que dispõe sobre a Política Nacional de Informática), pelo Decreto 92.181 de 19/12/85 (que dispõe sobre o artigo 21 da Lei 7.232), pelo Decreto 92.187 de 20/12/85 (que dispõe sobre os artigos 13 a 15 da Lei 7.232) e pela Lei 7.463 (que dispõe sobre o I Plano Nacional de Informática e Automação - I PLANIN), veja Silva, Ana Lucia Gonçalves da: A Indústria Brasileira de Componentes Eletrônicos Semicondutores - Estágio Atual e Perspectivas - Relatório de Pesquisa do Convênio MIC-STI/UNICAMP-IE/FUBJ (UFRJ-IEI), Campinas, Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, 1986, p. 68-71, (e 72-79, para algumas ponderações específicas para a microeletrônica) e Rosenthal, David: Microelectronics and Industrial Policies in Developing Countries: The Case of the Semiconductor Industry in Brazil, thesis submitted for the degree of Ph.D in the University of London, University College London, july 1987 mimeo, especialmente partes II e III.

(2) MCT: O Desafio dos Novos Materiais - Programa Brasileiro (Programa Bial de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Novos Materiais, elaborado por Comissão Especial do Ministério de Ciência e Tecnologia - Oportunidades Imediatas de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Novos Materiais), Brasília, 1987.

Esta portaria também criou a Comissão de Novos Materiais, com a finalidade de elaborar um "Programa Bienal de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Novos Materiais". O trabalho executado pela Comissão, de seleção das oportunidades de Ciência e Tecnologia, teve a finalidade de detectar as de caráter mais imediato, consolidando sugestões e priorizando-as segundo os critérios de capacitação científica e tecnológica já existentes no país, perspectivas de mercado em cada segmento (a saber: cerâmicas avançadas; quartzo e silício; metais e ligas especiais; polímeros especiais; e compósitos) e as disponibilidades nacionais de insumos.