

PROGRAMA NACIONAL DE MICROELETRÔNICA

Contribuições para a formulação de um Plano
Estruturado de Ações

Ministério da Ciência e Tecnologia

Secretaria Executiva

Secretaria de Política de Informática

Brasília, dezembro de 2002

Este documento de contribuições ao Programa Nacional de Microeletrônica foi elaborado pela equipe composta por André Amaral de Araújo (coordenador), Paulo Bastos Tigre, Sergio Bampi, Sergio Francisco Alves e Márcio Wohlers de Almeida.

Os autores agradecem as valiosas críticas e contribuições para este documento de Carlos Américo Pacheco, Vanda Scartezini, Roberto Pinto Martins, Henrique Miguel, Paulo Roberto Melo, Paulo R. Tosta, Armando Gomes da Silva Jr, Toshihiko Komatsu, José Ellis Ripper Filho, Wanderley Marzano, Carlos I. Mammana, Jacobus Swart, Renato Ribas, Guido Araújo, entre outros. Estes especialistas, entretanto, não são responsáveis por eventuais erros e omissões contidos no documento.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	6
PARTE I	8
DIAGNÓSTICO DO SETOR DE SEMICONDUTORES: Dinâmica, Estrutura e Oportunidades para o Brasil.	8
1. O Contexto Internacional	8
1.1 O Papel da Microeletrônica na Economia Mundial	8
1.2 Evolução e Perspectivas do Mercado Mundial	9
1.3 Segmentação e Estrutura da Indústria	11
1.4 O Segmento de Design Houses	13
1.5 O Segmento de Foundries	16
1.6 O Segmento de Back-End	22
1.7 Características da Demanda por Componentes	22
2. A Microeletrônica no Brasil	24
2.1 Breve Histórico	24
2.2 A Questão da Balança de Pagamentos	25
PARTE II	27
PROGRAMA NACIONAL DE MICROELETRÔNICA	27
PLANO ESTRUTURADO DE AÇÕES	27
3. A Necessidade de uma Nova Política de Microeletrônica no Brasil.	27
4. Instrumentos de Política	29
4.1 Incentivos à Demanda	29
5. Oportunidades para Inserção do Brasil na Cadeia Produtiva Mundial de Design Houses, Foundries e Back-End.	32
6. Subprograma Projeto de Circuitos Integrados (Design Houses)	35
6.1 Objetivos do Subprograma	36
6.2 Ações Estruturantes para o Desenvolvimento de Design Houses no Brasil	36
7. Subprograma de Fabricação de Circuitos Integrados (Foundries)	43
7.1 Ações Propostas	43
7.2 Oportunidades	48
7.2.1 Oportunidades para inovação com técnicas de microfabricação	49
7.2.2 Oportunidades associadas à sinergia com o Subprograma de Design Houses.	49
7.3 Dificuldades identificadas para o Subprograma Foundries	50
7.3.1 Limitações na cadeia produtiva	50
7.3.2 Limitações sistêmicas	50
7.4 Oportunidade para a atração de foundries do nível 2 e 3	50
7.5 Mecanismos/Instrumentos para Atração de Fundições de silício de nível 2 e de nível 3	51
8. Subprograma de Encapsulamento e Teste (Back-End)	55
9. Impactos no Balanço de Pagamentos	59
9.1 Subprograma de Design Houses	59
9.2 Subprograma de Foundries	59
9.3 Subprograma de Encapsulamento e Testes	60
10. Gestão do Programa Nacional de Microeletrônica	61
ANEXO I	62
ANEXO 2	65
ANEXO 3	71

APRESENTAÇÃO

O Brasil foi um dos primeiros países em desenvolvimento a utilizar e produzir equipamentos eletrônicos. Nos anos 80 havia uma significativa produção local de computadores e periféricos, além de uma indústria de componentes microeletrônicos. Entretanto, diversos fatores de ordem econômica, política e tecnológica, tanto no âmbito interno quanto internacional, levaram a uma perda relativa de capacitação industrial local, principalmente em semicondutores. Das 23 empresas produtoras de semicondutores existentes no Brasil ao final dos anos 80, restaram apenas quatro¹ atuando em etapas mais simples do processo produtivo. A consequência econômica imediata da perda de capacidade industrial é o crescente peso negativo da microeletrônica na balança comercial do país, em uma época de difícil acesso a créditos externos.

Por outro lado, em um setor onde o fator-chave é a inovação, esta competência é ferramenta poderosa para alavancar a competitividade nos demais segmentos produtivos a jusante, gerando externalidades positivas para diferenciar produtos e aumentar a produtividade do conjunto da economia, especialmente das indústrias de bens e serviços de informação, automação e comunicação. O objetivo deste documento é identificar oportunidades, para então formular os elementos estruturantes de uma estratégia viável para o desenvolvimento de uma indústria competitiva de microeletrônica no Brasil.

O presente estudo apresenta uma proposta de política industrial restrita ao setor de semicondutores, com foco específico em circuitos integrados. O setor foi segmentado nas três etapas principais da cadeia produtiva (*design*, *foundry* e *back-end*) que, por sua vez, foram subdivididas em oito grupos, segundo sua forma de inserção na indústria e nicho de mercado em que atua. Tal segmentação permitiu aprofundar a análise das oportunidades tecnológicas e econômicas de cada segmento de forma a identificar instrumentos de política adequados para promover o desenvolvimento de inovações.

Este documento, elaborado pela Secretaria Executiva do Ministério da Ciência e Tecnologia, contou com a contribuição de diversos técnicos e instituições envolvidas no tema e incorpora propostas elaboradas recentemente pela Secretaria de Política de Informática do MCT, do Grupo de Trabalho do Fórum de Competitividade, coordenado pelo MDIC, e estudos elaborados pelo BNDES e FINEP. Uma extensa pesquisa de campo foi realizada com vistas a recolher análises e recomendações de representantes da iniciativa privada e da comunidade acadêmica. As propostas aqui apresentadas, entretanto, são de caráter preliminar, e devem ser submetidas à consulta junto a representantes da indústria, governo, academia e sociedade.

O Programa Nacional de Microeletrônica (PNM) aqui apresentado está dividido em três subprogramas:

1. Subprograma de Projeto de Circuitos Integrados (*Design Houses*)
2. Subprograma de Fabricação de Circuitos Integrados (*Foundries*)
3. Subprograma de Encapsulamento e Testes (*Back-end*)

Os Subprogramas estão divididos, por sua vez, em Ações Estruturantes, com vistas a tornar as propostas mais objetivas e quantificáveis. Com isso pretende-se explorar as janelas de oportunidade abertas com a crescente desverticalização da indústria mundial de microeletrônica para promover o desenvolvimento de capital humano, o processo de inovação tecnológica e o adensamento da cadeia produtiva brasileira, ampliar o atendimento ao mercado interno e promover exportações.

¹ Itaucom, Aegis, Semikron e Heliodinâmica.

As diferentes etapas da cadeia produtiva – projeto (*design houses*), fabricação sobre lâminas de silício (*foundry*) e encapsulamento e teste (*back-end*) de circuitos integrados – apresentam barreiras e oportunidades de entrada bastante diversas e devem ser tratadas separadamente. O valor dos investimentos necessários, as condições de atratividade, os requisitos de recursos humanos e o “timing” de implantação de cada uma dessas fases são distintos e as ações propostas estão sujeitas a uma escala de prioridades a ser definida pelo poder público e empresas privadas.

Devido ao excesso de capacidade atualmente instalada em âmbito mundial na produção de chips e ao alto investimento exigido pelas foundries, a atração de investimento externo direto, seja isolado seja consorciado, só pode se viabilizar a médio e longo prazo. Entretanto, o desenvolvimento depende de decisões e ações estratégicas que se iniciam no curto prazo. Neste sentido, o BNDES e MDIC desenvolvem atualmente estudos prospectivos para identificar oportunidades internacionais e instrumentos abrangentes para a atração de investimentos, visando a formulação de políticas específicas para que empresas internacionais tenham interesse em fabricar circuitos integrados no Brasil.

No caso das *design houses*, as barreiras tecnológicas e econômicas são superáveis a curto prazo. A entrada no setor apresenta menores barreiras, na medida que investimentos são relativamente pequenos e as exigências de recursos humanos são compatíveis com a capacitação tecnológica existente no país. Já o setor de *back-end* se encontra em situação intermediária quanto aos requerimentos de capital e mão-de-obra. A maior dificuldade, tanto no *design* e montagem final de *chips* é encontrar nichos adequados de inserção no mercado que garantam sua sustentabilidade econômica.

Este documento está dividido em duas partes. A primeira apresenta um diagnóstico do setor, através da análise do contexto internacional da indústria microeletrônica, da revisão de suas tendências tecnológicas, da descrição da evolução e perspectivas do mercado brasileiro e da segmentação e estrutura da indústria. São discutidos os desafios e oportunidades abertas para a revitalização da indústria no país e propostas diretrizes e instrumentos de política para o setor. O objetivo da Parte I é dar suporte analítico para a formulação de políticas, as quais são apresentadas na Parte II do documento.

PARTE I

DIAGNÓSTICO DO SETOR DE SEMICONDUTORES: Dinâmica, Estrutura e Oportunidades para o Brasil

1. O Contexto Internacional

1.1 O Papel da Microeletrônica na Economia Mundial

Nas duas últimas décadas, a indústria de semicondutores consolidou-se como a principal força impulsionadora do desenvolvimento tecnológico mundial. Na esteira dessa transformação tecnológica, foram criadas indústrias que mobilizam dezenas de bilhões de dólares e empregam milhões de pessoas, concentradas em poucos países. Internacionalmente, a área de semicondutores tem apresentado um crescimento de cerca de 16% ao ano, em média, durante as últimas décadas, contra 3 a 4% ao ano da economia em geral. A existência de capacidade de projetar, difundir, encapsular e testar circuitos integrados em um determinado país torna-se um forte indutor da inovação tecnológica no complexo eletrônico e em outras cadeias produtivas.

A microeletrônica constitui hoje o principal insumo do chamado “novo paradigma técnico-econômico”, por ser capaz de gerar progresso técnico de forma generalizada em toda a cadeia produtiva. Para cumprir este papel de fator-chave, uma tecnologia deve apresentar, segundo Perez (1982), as seguintes características²:

- **Custo relativamente baixo com tendências ao declínio.** A microeletrônica cumpre amplamente este aspecto, pois segundo a chamada “Lei de Moore”, o custo por função de um chip (centavos por transistor ou bit) decresce 30% ao ano. Toda essa evolução é fruto, em larga medida, do fato de a indústria de semicondutores conseguir, a custos cada vez mais reduzidos, integrar um número cada vez maior de transistores em “pastilhas” (chips) de silício cada vez menores. A densidade de transistores contidos nos Circuitos Integrados (CIs) dobra a cada 18 meses, permitindo sua aplicação em novos setores.
- **Oferta aparentemente ilimitada apesar de demanda crescente.** Ao contrário do petróleo e de outros insumos que sedimentaram paradigmas anteriores, a matéria prima básica do chip (silício) é abundante na natureza e usada em proporções diminutas. O principal insumo da microeletrônica é, na realidade, a própria inteligência humana que permite projetar, produzir em larga escala e integrar em sistemas complexos estes chips cada vez mais densos em tecnologias. Não existem, portanto vantagens competitivas naturais, mas sim construídas através de políticas de formação de recursos humanos, desenvolvimento tecnológico e capacitação industrial.
- **Potencial de uso universal, principalmente em atividades produtivas.** Praticamente não existem setores econômicos onde não haja potencial de aplicação da microeletrônica, seja em atividades-meio ou incorporada no próprio produto ou serviço. O valor agregado dos bens finais e serviços está cada vez mais associado aos *chips* dedicados (os ASICs -

² Perez, Carlota. “Novas Tecnologias: Uma Visão de Conjunto”. In Ominami, C. (organizador). La Tercera Revolución Industrial: Impactos internacionales del actual viraje tecnológico. RIAL, Programa de Estudios Conjuntos sobre las Relaciones Internacionales de America Latina. Grupo Editor Latinoamericano. Buenos Aires, 1986.

Application Specific Integrated Circuits, circuitos integrados de aplicação específica – ou SoCs - *Systems on a chip*, que são sistemas em um único *chip*), que contêm as inovações funcionais e portanto os segredos industriais.

- **Deve encontrar-se na raiz do sistema de inovações técnicas e organizacionais, capazes de reduzir custos e melhorar produtos.** Os *chips* estão na raiz do sistema de inovações da maioria dos setores industriais e de serviços, permitindo o desenvolvimento de um conjunto de indústrias a jusante, a exemplo dos computadores, equipamentos de automação, de comunicação e de entretenimento. Sua incorporação em produtos pré-existentes permitiu minimizar tamanho, reduzir consumo de energia, aumentar desempenho e eficiência. Aplicados na gestão de processos, os *chips* permitem reduzir custos, aumentar a flexibilidade, criar novos serviços, aumentar a produtividade do trabalho e a eficiência do capital, multiplicar o acesso à informação e revolucionar a organização das empresas e instituições. Ao se situar no centro do processo de convergência tecnológica, a microeletrônica potencializa outros setores dinâmicos das tecnologias da informação.

1.2 Evolução e Perspectivas do Mercado Mundial

A demanda por circuitos integrados (CI) é historicamente cíclica e sua curva de investimento alterna períodos de super oferta e escassez, resultando em alta volatilidade dos preços. Nos componentes semicondutores, tal variação é mais acentuada nos CIs de memória, por serem componentes mais padronizados em sua funcionalidade e serem produzidos por um maior número de empresas. Já nos microprocessadores, onde a competição é limitada (a INTEL detém cerca de 80% do mercado mundial de processadores para PCs), os preços são mais estáveis e até aumentaram ao longo da década de 90, agregando mais capacidade de processamento. Os circuitos integrados têm enorme variedade de funções, que podem ser classificadas simplificada e de diversas maneiras: funções digitais, analógicas e funções mistas analógica-digitais. Levando-se em conta, adicionalmente, a variada complexidade das funções realizadas pelo CI e a variedade e diferentes graus de atualização do processo de fabricação das lâminas de silício, temos que o valor médio dos chips é muito variável - de fração de dólar a poucos dólares por peça, na maior parte dos CIs. Os chips de maior atualização, complexidade e originalidade – como os processadores 32 a 64 bits para computação profissional – têm valor médio de 50 a 100 dólares por CI.

A análise da dinâmica e dos fatores condicionantes dos ciclos permite algumas considerações acerca do futuro do mercado de semicondutores. A década de 90 foi de grande expansão, principalmente no período entre 1992-95 quando o faturamento da indústria de circuitos integrados dobrou (de 60 a 126 bilhões de dólares anuais, excluindo os semicondutores discretos). Tal dinamismo se deveu ao aumento da demanda por componentes semicondutores para sistemas de comunicação móvel celular, para computadores pessoais de baixo custo e para a computação móvel. A convergência entre telecomunicações e informática foi o mais importante indutor da indústria eletrônica na década passada. Ao mesmo tempo, tal convergência só foi possível graças às inovações ocorridas nos próprios componentes semicondutores.

O ciclo iniciou uma fase recessiva em 1996, recuperando-se rapidamente no período 1999-2000, quando o faturamento da indústria alcançou o pico histórico de US\$ 180 bilhões de dólares (ver tabela 1). A partir de 2001, o ciclo se inverteu e a receita das empresas produtoras de chips caiu em relação ao ano anterior (2000),

cerca de 30%³ a 36%⁴. Em 2002, a crise persistiu, a reboque do “estouro” da NASDAQ e da crise mundial que se abateu sobre o setor das tecnologias da informação como um todo. A *Semiconductor Industry Association* (SIA) estima que o crescimento do setor em 2002 será de apenas 4%. Projeções atuais⁵, entretanto, indicam a recuperação do crescimento no período 2002-2005, aproximando-se de 15%, muito próximo da taxa histórica de crescimento do faturamento do setor.

A demanda por *chips* está muito concentrada no complexo eletrônico, embora novas aplicações venham surgindo em setores tão diversos quanto o de automotivos, a construção civil e a agricultura. Os bens de informática responderam, em 2001, por 41,4% da demanda mundial por chips, seguido de telecomunicações (telefonia fixa 12,8%, telefonia móvel 11,5%), eletrônica de consumo (17,4%) e eletrônica embarcada para o setor automotivo (7,4%). Em menor escala, há demanda no setor de bens de capital, equipamentos optoeletrônicos, sistemas militares, aviônica, mostradores (*displays*) e terminais variados. A evolução das vendas mundiais de semicondutores por tipos de circuitos integrados é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1: Evolução do Mercado Mundial de Semicondutores* – Por tipo de CI

Circuito Integrado	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001*
ASICs – Aplicação Específica	19,78	20,13	21,05	18,56	23,16	34,67	18
Lógica	33,40	39,83	47,77	47,34	51,70	63,94	60
Memórias	53,46	36,02	29,34	22,99	32,29	49,2	24,84
Analógicos	16,65	17,04	19,79	19,07	22,08	30,51	23,18
Outras	2,87	1,92	1,58	1,11	0,99	1,09	1
Total	126,16	114,94	119,53	109,07	130,22	179,4	127**

Fontes: ICE e Melo, Paulo R.S. et alii. “Componentes Eletrônicos: Perspectivas para o Brasil”. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, p. 27, mar. 2001

*Exclui o segmento de semicondutores discretos.

** Estimativa (2001) Booz Allen Hamilton & ICE

Os *chips* de memória DRAM têm sido os principais impulsionadores do avanço tecnológico na indústria de semicondutores, através do desenvolvimento de processos e ferramentas de litografia. Entretanto, a partir de 1990, o desenvolvimento de circuitos lógicos passou a acompanhar a evolução tecnológica dos chips de memória. Os *chips* microprocessadores passaram à posição de produtos “drivers”, liderando o avanço tecnológico no setor. A intensa competição entre fornecedores de memórias DRAM reduziu as margens de lucro nesses componentes e conseqüentemente os investimentos em atividades de P&D.

Deve-se observar que a tecnologia de fabricação de chips é usada também para a produção de outros componentes, a exemplo dos sistemas micromecânicos MEMS. A competitividade das indústrias do complexo eletrônico está associada aos chips dedicados a eles incorporados. Os ASICs (*application specific integrated circuits*), contêm inovações funcionais que diferenciam os bens eletrônicos e permitem a apropriação tecnológica através de patentes e segredos industriais. Assim o progresso técnico nos bens eletrônicos está, em larga medida, associado à disponibilidade de ASICs, que permitem produtos mais baratos, compactos e de maior confiabilidade – além da proteção à propriedade intelectual do inovador. O segmento

³ www.semiconductor.net.

⁴ McClean Report 2002 Edition. Fonte: BNDES

⁵ Gartner Dataquest – Forecast, in Booz Allen Hamilton, 2002

de ASICs atingiu o expressivo faturamento de US\$ 34 bilhões no ano 2000⁶, estabilizando-se recentemente no patamar de US\$ 20-25 bilhões/ano.

Outra tendência que se observa hoje é a integração de sistemas em um único chip (*system on a chip* - SOC), o que leva o custo do sistema a se aproximar do custo do próprio chip. Estes sistemas embutidos (sistemas *embedded*, ou embarcados) podem requerer o desenvolvimento conjunto de *software* e *hardware*. A customização das funções internas dos SOC's estão abrindo novas oportunidades de negócios para o desenvolvimento de software embarcado. As empresas de chips buscam especificar SoC's como plataformas de *hardware* para mais de uma aplicação e para múltiplas versões de um tipo de produto. Neste caso, a customização por *software* é feita após a especificação, o projeto e a fabricação do chip. Exemplo destes produtos são os microprocessadores para unidades portáteis dos sistemas de telefonia móvel celular, que buscam atender diferentes padrões de serviços *wireless* no mundo. Os mesmos chips processadores e chipsets são fornecidos a diferentes fabricantes de *hardware*, que customizam seus serviços via *software*. Esta tendência é bastante avançada no *hardware* para a infra-estrutura de transmissão e comutação nas telecomunicações.

1.3 Segmentação e Estrutura da Indústria

A cadeia produtiva de um circuito integrado é composta basicamente por três etapas: projeto, fabricação e encapsulamento/teste. Os CIs são projetados por empresas verticalizadas (integradas) ou por empresas independentes e especializadas nesta etapa do processo produtivo, denominadas "*design houses*". Estas empresas necessitam de um investimento imobilizado relativamente pequeno, comparadas às demais etapas. Os recursos necessários são estações de trabalho, pacotes de software para a automação do projeto eletrônico (item mais caro, que pode custar cerca de US\$ 1 milhão por ano em licenças de software) e pessoal qualificado. A implantação de atividades nessa etapa pode ser realizada rapidamente, havendo demanda de projetos e disponibilidade de projetistas para contratação. A segunda etapa, envolvendo a fabricação (ou fundição) do chip em "*foundries*", exige tecnologia no "estado da arte" para produção em larga escala, e os investimentos devem ser amortizados em poucos anos, dada sua rápida obsolescência tecnológica. Por fim, as empresas que realizam encapsulamento e teste, operações usualmente chamadas de *back-end*, têm investimentos de uma a duas ordens de grandeza inferiores a foundries, porém significativamente maiores do que as design houses.

As tendências mais significativas verificadas nesta indústria de circuitos integrados nos últimos 30 anos, aceleradas especialmente a partir de 1980, foram:

- i) a crescente desverticalização do setor, viabilizando a emergência de empreendimentos especializados e altamente interdependentes em escala global;
- ii) a distribuição das atividades de uma mesma empresa em escala global, sempre voltadas a um mercado igualmente globalizado em seus padrões, produtos e práticas de engenharia. As unidades operacionais especializadas em cada segmento operam em diferentes países, porém subordinadas às estratégias de P&D, de desenvolvimento de produtos e logística unificadas, ágeis e eficientes;
- iii) uma alta taxa de inovação em técnicas de projeto e de produção dos CIs, com investimentos em pesquisa, desenvolvimento e engenharia

⁶ Estimativa de Booz-Allen Hamilton, 2002 e da ICE. A estimativa do valor da produção de ASICs nas foundries é menor, já que empresas *fabless* projetam e comercializam os ASICs. A estimativa do McClean Report 2002 foi de US\$20,8 bilhões e US\$12 bilhões o valor dos ASICs produzidos pelos fabricantes em 2000 e 2001, respectivamente.

de produto muito acima da média dos outros setores da indústria de transformação;

- iv) um padrão de inovação tecnológica incentivado pela demanda (*demand-pull*), e fortemente influenciado pelas tendências específicas dos segmentos de bens finais de base eletrônica (telecom, informática, automotiva, etc.)

Dentro das três etapas da cadeia produtiva podemos identificar diferentes especializações na produção, conforme mostra a Tabela 2. A segmentação apresentada mostra que, ao contrário do que geralmente se apregoa, os investimentos para iniciar um empreendimento em *foundry* não precisam necessariamente atingir a casa dos bilhões de dólares. Inovações em processos, além de conceitos evolucionários de integração de chips, oferecem oportunidades para diversificar as tecnologias de fabricação utilizadas e conseqüentemente reduzir as barreiras à entrada. Por exemplo, a microfabricação em mini-fábricas com equipamentos mais flexíveis para diferentes tipos de processamento físico-químico de lâminas de silício constitui uma nova rota tecnológica capaz de reduzir substancialmente os investimentos em salas limpas e equipamentos, abrindo oportunidades para viabilizar empresas operando em menor escala de produção. Centenas de empresas de fabricação de semicondutores atualmente existentes, classificadas como foundries de nível 2, buscam alternativas de produção competitiva e flexível, que não requeiram investimentos fixos muito altos (acima de US\$1 bilhão), típicos de uma mega-fábrica do nível 3 que requer volumes de produção acima de 25.000 lâminas por mês para um adequado retorno do investimento.

1.4 O Segmento de Design Houses

As *design houses* (DH) são empresas ou núcleos dedicados ao projeto de circuitos integrados. Em função do alto grau de especialização envolvido no projeto e desenvolvimento destes dispositivos, as *design houses* geralmente se especializam em algum segmento da indústria de bens finais, como por exemplo a criação de CIs para a indústria automotiva, para aplicação em sistemas de telecomunicações, para automação e controle de processos, etc. Em geral o sucesso de uma *design house* está diretamente relacionado ao nível de integração com os seus clientes e a quão intimamente o projeto do componente está relacionado ao projeto do produto final. Nesta relação identifica-se a necessidade de uma estratégia de apoio ao desenvolvimento da engenharia de projeto de bens finais (aqui entendidos como sistemas eletrônicos completos) nas empresas instaladas no Brasil. Tal iniciativa se justifica pelo fato das empresas brasileiras geralmente utilizarem projetos de produtos desenvolvidos no exterior, não formando assim uma demanda efetiva por novos projetos de sistemas e *chips*.

As *design houses* têm um papel importante na criação e difusão de oportunidades de negócios seja para as empresas fabricantes de chips ("*foundries*"), seja para soluções inovadoras no projeto dos bens finais. A interação e cooperação entre usuários e fornecedores induzem à inovação em ambos segmentos.

Existem vários estágios no projeto de desenvolvimento de um CI, que podem ser realizados totalmente por uma ou por várias DH trabalhando em conjunto. Assim, uma DH pode se especializar em determinadas etapas do projeto de desenvolvimento de um *chip*. Na primeira metade da década de 80 começaram a surgir empresas independentes de projeto de circuitos integrados. Estas empresas, também definidas como *fabless* (sem-fábrica) têm-se desenvolvido a partir, sobretudo, de projetos de *chips* para o setor de telecomunicação, entretenimento, automotivo e multimídia, a exemplo da Qualcomm, 3Com, BroadCom, Nvidia e Qlogic. Atualmente esse é o segmento da cadeia produtiva de semicondutores que mais cresce e agrega valor. As

empresas *fabless* representaram cerca de 10% do total de vendas de circuitos integrados no ano de 2001, ou 12,9 bilhões de dólares naquele ano (Tabela 4).

Tabela 2: Segmentação dos Empreendimentos na Cadeia Produtiva de CIs

Segmento	Tipos de Empreendimentos	Características / Mercado	Investimentos
Design Houses	DH1 - Vinculada / Verticalizada	Vinculadas a uma única empresa de semicondutores (com ou sem fabricação própria).	Relativamente pequeno (de US\$ 1 a 5 milhões), concentrado em software, treinamento e estações de trabalho.
	DH2 - Integradoras independentes	Licencia ou contrata IP ou serviços de DH3.	
	DH3 - Prestadoras Independentes	Fornecedoras de módulos de IP e de embedded software segundo especificações das DH1 ou DH2.	
Foundries	Nível 1	Prototipagem de pequenas séries. Produção de CMOS em baixa escala	De US\$ 10 a 100 milhões
	Nível 2	Fornece para segmentos especializados do mercado: componentes automotivos, memórias flash, sensores, transceptores de RF e sistemas micro-eleto-mecânicos	Cerca de US\$ 400 milhões
	Nível 3	Mega-fábricas produzindo microprocessadores e memórias principalmente.	De US\$ 1 a 2 bilhões
Back-end	Verticalizada	Integradas a empresas fabricantes de semicondutores	
	Independente	Atendem a foundries independentes. Atuam no encapsulamento, testes ou ambos.	

Neste estudo, para facilitar a análise das oportunidades e os mecanismos para atração e criação de empreendimentos no Brasil, as *design houses* foram classificadas segundo sua vinculação e modelo de negócios. Identificamos três tipos de empresas neste segmento: DH1, DH2 e DH3, além das empresas de software que fornecem ferramentas de trabalho indispensáveis para as DH.

A **DH1** é vinculada a uma empresa de semicondutores, sendo geralmente uma unidade de negócios dentro de uma corporação maior. Apesar de serem as principais geradoras de valor agregado, geralmente não geram transações de serviços, pois atendem exclusivamente sua própria empresa. As grandes empresas de semicondutores tendem a criar grupos de engenharia de projeto fora do núcleo corporativo ou do país sede da empresa, especializando-os por segmento ou tipo de atividade. Tal fato está relacionado à escassez e à alta rotatividade de projetistas em todo o mundo. A Intel, por exemplo, mantém uma design house cativa (verticalizada) desde 1974 em Israel, enquanto a Motorola estabeleceu unidades de projeto de *chips* na Índia, na Irlanda, no Brasil e diversos outros países. Estas atividades de projeto estão focadas no desenvolvimento de *chips* plataforma para o mercado global (microprocessadores e sistemas embarcados) para alto volume de produção (acima de 1 milhão de *chips* / ano).

As empresas definidas como **DH2**, por sua vez, desenvolvem o *design* completo do *chip* ou integram módulos (partes do projeto dos *chips*) adquiridos junto a diversos fornecedores. Sua principal vantagem é o conhecimento das necessidades dos clientes, oferecendo soluções a partir do reuso e recombinação de módulos prontos. As “integradoras” de serviços de engenharia, contribuem para o aumento da produtividade e reduzem o tempo de projeto subcontratando outras DH para módulos específicos. Elas viabilizam o modelo de negócios de IP (*intellectual property*) em torno de plataformas virtuais de integração de módulos projetados por diferentes equipes de projetistas. Tal tendência leva ao conceito conhecido como “virtualização dos componentes” (comércio de *virtual components*). O re-uso de células já disponíveis em novos projetos de *chips* permite acelerar e baratear o desenvolvimento do projeto, além de torná-los mais específicos para uma determinada finalidade. Estes módulos são geralmente patenteados e oferecidos a projetistas de outros grupos de engenharia ou de outras empresas.

Já as *design houses* independentes do tipo **DH3** (provedoras de IP sob encomenda) desenvolvem *embedded software* ou mesmo módulos sob contrato com uma DH2 integradora. Geralmente são empresas independentes que podem atuar de acordo com qualquer um dos modelos de negócio de IP (vendas/serviços, royalties e licenciamento). As DH3 poderão, segundo a Dataquest, gerar negócios acima de 1 bilhão de dólares/ano em 2005⁷. O setor de telecomunicações domina atualmente o mercado de licenciamento de *hardware* IP, com 57% do valor das transações. O segundo maior mercado de bens finais a utilizar a compra de IP é o da eletrônica de consumo. As três empresas líderes no comércio de IP em 2001 (empresas ARM, MIPS e Rambus) responderam por 40% do valor das transações internacionais neste mercado, essencialmente porque concentram-se em microprocessadores e interface de entrada/saída (I/O) para chips de memória RAM dinâmica (DRAM). A empresa Gartner Dataquest identificou no mundo cerca de 450 fornecedores potenciais de IP em 2001, ainda que poucos tenham obtido sucesso comercial e grande volume de negócios ao ofertarem módulos de *hardware* que sejam facilmente reaproveitáveis. Parte do faturamento neste setor pode advir de venda de serviços pelas *design houses* independentes para *design houses* integradoras ou para DH vinculadas (DH1). Do mercado da Figura 1, cerca de 17% são de serviços de *design*.

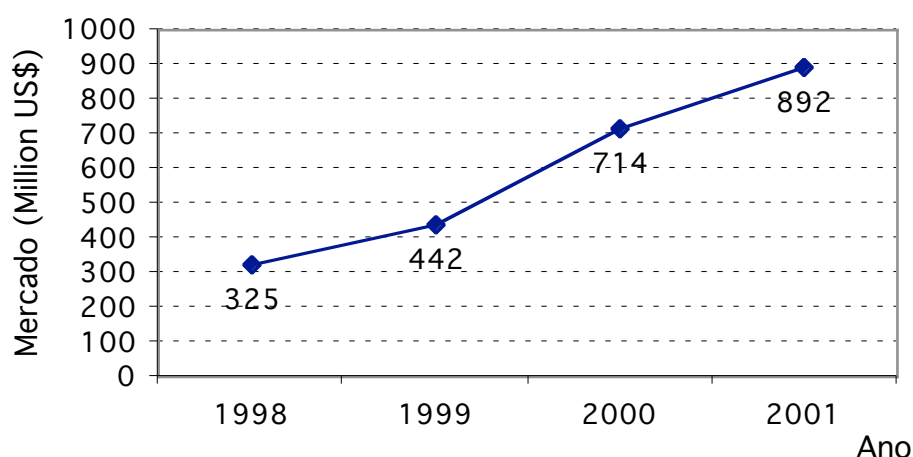


Figura 1: IP Evolução do Comércio de IP's

⁷ Craig Lytle, “Productized IP: More than Pipe Dream”. Altera Corporation, March, 2000

A comercialização de IP segue três práticas de negócio: licenciamento, vendas e royalties. Dos três modelos, o licenciamento respondeu por cerca de 61%, royalties 22% e serviços/vendas 17% do mercado de IP no ano de 2000. Há uma tendência de expansão e predominância da prática de venda de licenças neste mercado. A Figura 1 mostra a evolução das transações de IP no período 1998-2001. Segundo a Dataquest⁸, o mercado de IP deverá crescer 35% nos próximos quatro anos.

A oportunidade de o Brasil atrair atividades de *design houses* está relacionada ao fato de que regiões sujeitas a conflitos, a exemplo de Israel e Índia, celeiros tradicionais de projetistas, têm reduzido a sua atratividade para novos empreendimentos. Ressalte-se que as atividades das empresas tipo **DH1** não são apropriadas diretamente na balança de serviços do país, pois são transferências internas às empresas de semicondutores. O principal valor agregado para a economia local está no pagamento de recursos, especialmente salários, serviços e equipamentos.

Identifica-se, também, oportunidade para as empresas brasileiras no desenvolvimento de ferramentas de software para design houses, conhecidas como ferramentas de **EDA** (*electronic design automation*, um tipo especializado de CAD). Isto deriva do surgimento de um setor independente de software especializado em automação do *design*, a exemplo do CAD para sistemas eletrônicos. Esse setor vem permitindo o avanço da desverticalização da atividade de *design* – ou o seu desmembramento como atividade separada da indústria de difusão de lâminas de silício. A emergência da indústria de *software* de automação de projeto de *chips* e de sistemas eletrônicos resultou da crescente complexidade dos chips, e é responsável pelo aumento da produtividade dos projetistas de chips. As plataformas de *software* e os programas de EDA embutem em si a tecnologia interna à metodologia de projeto de sistemas eletrônicos. A liderança de plataformas de EDA de empresas como Cadence, Mentor Graphics e Synopsys auxiliam na integração internacional das metodologias de projeto, tanto nas empresas de *design* independentes como nas empresas verticalmente integradas. O mercado internacional de *software* de EDA atinge cerca de US\$ 3 bilhões por ano, e supre a indústria de chips e de sistemas eletrônicos (módulos, placas e chips). Este segmento apresenta oportunidades típicas do negócio de software.

Por fim, outro agente do processo é o próprio usuário de *chip* que, no caso de empresas mais capacitadas, vem customizando funções digitais em outra classe de *chips* CMOS, projetando seu hardware específico com chips FPGA. Isto é possível graças à emergência dos produtos/chips lógicos programáveis pelo usuário – os chamados EPLDs (*electrically programmable logic devices*) e os FPGAs (*gate-arrays* programáveis pelo usuário) como alternativas para prototipação em baixo volume, para *breadboarding*, e para a obtenção de ASICs de baixo desempenho. Os chips FPGAs surgiram por volta de 1985 afirmando-se como aplicação única para empresas *fabless* (como as americanas Altera, Xilinx, Actel e outras, que lideram num mercado de mais de US\$2 bilhões por ano em FPGAs, listadas na Tabela 4), que seguem expandindo sua fatia no mercado de chips, ainda que não figurem entre as 20 maiores empresas de semicondutores. O impacto mais significativo desta inovação tecnológica foi a introdução de um rota alternativa, mais barata em muitos casos, e sempre de menor desempenho para a mesma função. Os FPGAs são alternativas mais baratas que ASICs em particular quando necessárias, por ano, poucas dezenas ou centenas de chips de uma dada funcionalidade. Atualmente, os FPGAs restringem-se notadamente às funções digitais do hardware. Deve ser ressaltado que os FPGAs:

- Foram viabilizados pelo avanço das tecnologias CMOS em silício – e são beneficiadas continuamente por este;

⁸ Araújo, Guido, "Brazil IP Network". Mimeo, set. 2002.

- São alternativas tornadas simples e baratas para prototipação em baixo volume devido ao poderio e baixo custo do software de EDA associado ao “mapeamento tecnológico” ou programação do hardware;
- São importantes para “*breadboarding*” de alguns sistemas durante a fase de projeto de sistemas de hardware digital, antes do projeto elétrico e físico de um ASIC ou SOC;
- Têm sempre desempenho elétrico inferior aos ASICs customizados e fabricados nas foundries – porém são mais baratos para séries de 100 ou 1000 peças, dependendo da complexidade do *design*;
- Na medida que evoluem e incorporam acima de 1 milhão de portas lógicas, ocupam a capacidade de produção das foundries de silício que são “*leading edge*”;
- Evitam a interação do usuário dos FPGAs com a *foundry* diretamente; a detentora do direito autoral das máscaras do FPGA e do “copyright” do software de automação do projeto para FPGAs faz esta encomenda a poucas (tipicamente duas) *foundries* e atende a dezenas de milhares de clientes no mercado global.

1.5 O Segmento de Foundries

O mercado de CI apresentou, inicialmente, forte verticalização, integrando nas mesmas empresas (Fairchild, IBM, Texas Instruments, ATT, Motorola, NEC, Fujitsu, Samsung, INTEL e AMD) as etapas de projeto, fabricação de *chips* em lâminas de silício (*foundry*), empacotamento e teste. A partir do início dos anos 80, inicia-se um processo de desverticalização do setor, com o surgimento de empresas que se especializam unicamente na produção de chips (*silicon foundries*), a exemplo das empresas fabricantes de *gate-arrays* (VLSI Technology, GE Microelectronics, LSI Logic), ES2, TSMC e UMC em Taiwan, e da Chartered Semiconductor de Cingapura. Estas empresas são chamadas de *foundries* independentes ou fabricantes de *chips* por contrato.

Por outro lado, a emergência deste modelo de fabricação por contrato propiciou a expansão de empresas de semicondutores que não possuem fábricas de *wafers* (*fabless*). A associação das empresas de semicondutores *fabless*, que fazem design, “*branding*” de sua própria marca e comercialização de seus *chips*, apresentou a participação percentual de suas associadas que utilizam cada *foundry* especializada em fabricação por contrato. As empresas do leste asiático TSMC, UMC e Chartered Semiconductor têm a maior base de clientela entre as empresas *fabless*, conforme mostrado na Tabela 3. Estas fábricas de *chips* competem, com alto risco, para se viabilizarem no futuro como líderes em empreendimento *foundry* nível 3; para tanto buscam serem provedoras de serviços de fabricação de chips para as empresas de CIs que já têm fabricação própria e desejam terceirizar esta operação – aprofundando ainda mais a desverticalização do setor e obtendo economias de escala que reduzem e otimizam, em escala global, o investimento fixo nas poucas *foundries* de nível 3. Este movimento explica alianças estratégicas anunciadas por empresas de semicondutores e/ou sistemas européias, americana e asiática como Philips, ST Microelectronics, Motorola e TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Corp.), respectivamente.

A Tabela 4 lista as 15 maiores empresas de circuitos integrados que pertencem ao segmento *fabless*, e seus respectivos volumes de vendas nos anos de 2000 e 2001. Também este segmento teve queda expressiva na crise de 2001-02, da ordem de 24%. Pouco abaixo da indústria de circuitos integrados como um todo, que decresceu 30-36% em volume de vendas.

Tabela 3: Empresas de Semicondutores FABLESS que utilizam cada foundry especializada em ASIC e SoC's (%)

NOME DA FOUNDRY	% 2000	% 2001
TSMC – Taiwan	38	42
UMC - Taiwan	22	24
Chartered Semicond. – Cingapura	9	10
AMI – American Microsystems Inc. (EUA)	6	7
IBM (EUA)	3	-
Outras foundries	22	17

Fonte: Fabless Semiconductor Association - Elect. Design News, Ago. 2002

Tabela 4: 15 Maiores Empresas de Semicondutores sem Fábricas de CI (*Fabless*)⁹

Ran k 2001	Ran k 2000	Empresa	Vendas 2001	Vendas 2000	% Cresc. 2001/2000
1	4	Qualcomm (U.S.)	\$1.24 billion	\$1.08 billion	+14%
2	7	Nvidia (U.S.)	\$1.21 billion	\$699 million	+73%
3	1	Xilinx (U.S.)	\$1.15 billion	\$1.56 billion	-26%
4	5	Via (Taiwan)	\$1.01 billion	\$909 million	+11%
5	3	Broadcom (U.S.)	\$962 million	\$1.1 billion	-12%
6	2	Altera (U.S.)	\$839 million	\$1.38 billion	-39%
7	6	Cirrus Logic (U.S.)	\$534 million	\$729 million	-27%
8	11	ATI Technologies (Canada)	\$520 million	\$630 million	-8%
9	13	MediaTek (Taiwan)	\$447 million	\$411 million	+9%
10	14	Qlogic (U.S.)	\$357 million	\$362 million	-1%
11	8	PMC-Sierra (Canada)	\$323 million	\$695 billion	-54%
12	9	SanDisk (U.S.)	\$317 million	\$602 million	-47%
13	10	Lattice (U.S.)	\$295 million	\$568 million	-48%
14	16	ESS Technology (U.S.)	\$271 million	\$303 million	-11%
15	15	GlobeSpan (U.S.)	\$270 million	\$348 million	-22%
Total fabless no ano			\$12.89 billion	\$16.93 billion	-24%

Empresas altamente inovadoras em design de chips, com circuitos integrados diferenciados, como as especializadas em FPGAs (Xilinx e Altera), as dedicadas às placas de vídeo gráfico (Nvidia), ou aos subsistemas de comunicação de dados (Broadcomm e Qualcomm), são empresas líderes no segmento de *fabless*.

Por razões técnicas – especialmente relacionadas à propriedade industrial crítica – as fabricantes de chips de memória mantêm integrados os segmentos de projeto e de fabricação. Especialmente porque o projeto é especializado, relativamente mais simples e focado em pequenas células de memória, e a fábrica é dedicada a este único produto por anos – exclusivamente memória dinâmica RAM, ou EEPROMs, ou memórias flash, por exemplo.

Por razões estratégicas do negócio – especialmente a manutenção de virtual monopólio em torno de plataformas de computação pessoal e de servidores de informação – os fabricantes de microprocessadores, notadamente a INTEL e a AMD, mantêm a verticalização de projeto, fabricação, encapsulamento e testes na mesma empresa – admitindo-se apenas a distribuição geográfica destas operações por

⁹ Fonte: IC Insights, ago 2002.

diferentes fábricas e pela dispersão de grupos de engenharia de projeto de chips em diferentes unidades da mesma empresa.

Vale ressaltar que esta tendência à desverticalização é reforçada pelas flutuações do mercado. Ao transferir parte das atividades de difusão para foundries independentes, empresas de semicondutores reduzem seus riscos e a necessidade de investimentos fixos próprios em novas plantas. Tal tendência tem viabilizado a constituição de consórcios entre fabricantes de CI (como mencionado no caso Philips, ST Microelectronics, Motorola e a taiwanesa TSMC), permitindo o rateio dos elevados custos fixos das foundries e conjugando, por vezes, mais de uma tecnologia de processo (CMOS, BiCMOS, BiCMOS SiGe) na mesma planta. As plantas de difusão desvinculadas de empresas verticalizadas são favorecidas pela viabilização da produção de *chips* nas encomendas de menor volume. Em determinadas situações, atendem simultaneamente a vários usuários diferentes em uma mesma lâmina (*wafer*) em um arranjo conhecido como MPW (*Multi Project Wafer*). Isso permite a obtenção de economias de escala e escopo. As encomendas de menor volume, abaixo de 100.000 chips, não viabilizam porém uma foundry do nível 3 dedicada exclusivamente a manufatura para terceiros.

Sobressai da análise das tendências industriais das duas últimas décadas que as empresas de semicondutores, independentemente dos modelos de negócio perseguidos, optaram pela implantação de novas fábricas de *wafers* utilizando majoritariamente a tecnologia de fabricação CMOS sobre silício. Todos os novos produtos semicondutores convergiram para utilizar esta rota tecnológica, que permanecerá sendo a dominante pelo menos até 2015, segundo projeções internacionais [ITRS2001]. As tecnologias diferentes da CMOS (bipolar, GaAs, semicondutores compostos diversos, SAW, etc) permanecem como nichos em produtos para os quais CMOS é inviável - claramente em dispositivos optoeletrônicos, LEDs, lasers, etc, que são nichos para semicondutores compostos – ou não apresenta desempenho comparável a outras opções. Porém, a rota tecnológica para chips de massa, a baixo custo, permanecerá sendo a tecnologia CMOS por longo período.

A produção de *chips* geralmente envolve economias de escala substanciais e significativo investimento em capital fixo, sendo consensual entre os analistas da indústria que os eventuais investimentos em *foundry* não podem ser viabilizados com base exclusiva no mercado interno. Dependendo do nível de produção da fundição comercial considerada, o mercado brasileiro poderia representar de 5% a 20% da produção de uma fábrica de semicondutores de grande escala, nos níveis 2 e 3. Cabe ressaltar que o Brasil constitui um mercado importante para determinados bens eletrônicos de consumo. A capacidade de produção local é internacionalmente expressiva, por exemplo, no caso de televisores (6 milhões de unidades/ano) e aparelhos celulares (20 milhões de unidades, com exportações de US\$ 849 milhões em 2001). Em eletrônica embarcada, o mercado é relativamente menor, mas ainda significativo. Em 2001, foram produzidos 1,7 milhões de veículos (para uma capacidade instalada de três milhões veículos/ano) consumindo US\$ 200 milhões em chips.

A vantagem de se ter a capacidade de produção de CIs no Brasil é que existem muitos produtos/segmentos que inovam com a utilização de microsistemas em silício. Podem ser citados os sensores eletrônicos, os dispositivos micro-mecânicos com aplicação em biociências e micro-dispositivos eletromecânicos, a integração eletro-óptica com substrato e microposicionadores de silício, entre outras tecnologias que situam-se na interface com a microeletrônica convencional de chips ASICs. Uma vasta gama de sistemas não eletrônicos necessitam de tecnologias de processamento físico-químico em ambientes e processos fabris de alto grau de limpeza, como aqueles existentes em salas limpas utilizadas para a micro-fabricação de silício. Portanto, o conjunto de tecnologias mobilizadas para produzir CIs tem um potencial de indução à inovação que supera a simples fabricação de sistemas eletrônicos em CMOS de alto

grau de integração (sistemas VLSI). Um conjunto mais amplo de componentes eletrônicos e inclusive novos componentes e novos materiais estruturados em escala nanoscópica, com potencial econômico ainda a ser explorado, depende do domínio e capacidade de adaptação das tecnologias de microfabricação que são, por simplicidade, associadas à microeletrônica. Portanto, novos nichos inovadores emergem como oportunidade de negócios para aqueles que já dominam as tecnologias chave que operam em salas limpas para microfabricação.

O estado da arte da microfabricação de semicondutores já cruzou a fronteira dimensional em direção aos dispositivos nano-estruturados – i.e., com estruturas que possuem ao menos uma dimensão física da ordem de 1 a 100 nm. Há micro e nanoestruturas em semicondutores já em produção, seja em silício seja em compostos semicondutores do tipo III-V (como GaAs, InGaAsP, AlAs, etc). Comercialmente o volume de produção em silício é cerca de 100 vezes mais expressivo nos negócios de *chips*. Porém, a microfabricação de silício implica o domínio de tecnologias de base essenciais para manter a possibilidade de inovar em diversas tecnologias-chave para o futuro – inclusive em ciências da vida como medicina, genética, farmacologia, etc.

Por outro lado, as previsões das indústrias líderes de semicondutores, reunidas no esforço internacional coletivo de estabelecimento das tendências futuras no documento *International Technology Roadmap of Semiconductors* [ITRS2001], definem a permanência do desenvolvimento da integração de sistemas eletrônicos predominantemente em silício pelo menos até 2016. A tecnologia de fabricação planar para chips do tipo CMOS é considerada rota tecnológica viável técnica e economicamente por no mínimo mais 15 anos. Neste horizonte, as geometrias físicas dos transistores reduzir-se-ão para cerca de 9 a 10 nm, enquanto o meio-*pitch* para processadores e memórias DRAM reduzir-se-á a cerca de 22 nm em processos de produção por volta de 2016, possibilitando a integração de memórias de até 64 Gbits por chip. O Anexo I trata destas tendências para as quais convergem as indústrias, focando as tecnologias CMOS para o futuro.

Para o melhor entendimento de como o Brasil poderá se inserir no segmento de produção de chips, classificamos as escalas de operação de foundries em níveis 1, 2 e 3, conforme mostrado na Tabela 2.

As *foundries* classificadas no **nível 1** requerem investimentos relativamente pequenos, comparadas aos demais tipos, pois são direcionadas para produção de pequenas séries e não necessitam necessariamente tecnologia no estado da arte litográfico. Estima-se que uma foundry nível 1 custa dezenas de milhões de dólares para a prototipagem de pequenas séries e para a produção em pequena escala de circuitos integrados CMOS. Novos paradigmas de flexibilidade, prototipação rápida e compactação da área de produção em mini-fabs, mini-ambientes e equipamentos mono-wafers estão sendo investigados¹⁰, visando capacitar tais foundries.

Foundries deste tipo criam oportunidades de inovação em outros segmentos não convencionais – não necessariamente de sistemas eletrônicos - que também exigem a microfabricação sobre materiais semicondutores e, portanto, devem ser dotadas de capacidade flexível para atender a mais de uma linha de produtos. A demanda de produtos “*systems on a chip*” (SoCs), é crescente, abrindo um nicho de mercado para empresas de menor porte dedicadas exclusivamente à produção de protótipos e chips sob medida em pequena escala.

Já as *foundries* de **nível 2** constituem a maioria das fábricas de wafers no mundo, pois têm média escala e não necessitam obrigatoriamente tecnologia no estado da arte. A tecnologia utilizada é definida como “trailing edge” quanto ao processo litográfico, trabalhando no intervalo de 0,25µm-0,35µm-0,5µm-0,6µm e 0,8µm de largura mínima de linha litograficamente definida. As fábricas não utilizam os

¹⁰ Por exemplo, na Universidade de Tokyo.

processos litográficos mais densos (*steppers* de luz ultravioleta DUV 0,193µm e 0,157µm) e via de regra operam com lâminas de 20 cm de diâmetro ou menos.

O investimento estimado em uma *foundry* nível 2 é da ordem de US\$ 400 milhões de dólares. Pela maturidade da tecnologia e da etapa da evolução da curva de aprendizado atingida pelas *foundries* já existentes, a inserção do Brasil se daria através da atração de empresas internacionais que detenham tecnologia e capital para implantar uma nova planta que opere com lâminas de até 12 polegadas de diâmetro. Algumas destas empresas operam desde 1996 utilizando tecnologia CMOS 0,25µm e os analistas da indústria prevêem que a próxima mudança para uso em larga escala de *wafers* de maior diâmetro somente se dará por volta de 2013, aproximadamente.

A atração de empresas internacionais de nível 2 pode ser viável no Brasil, considerando os níveis de investimento e de capacitação tecnológica necessária. O fator estratégico mais importante para estas empresas é o atendimento de segmentos especializados do mercado, a exemplo dos componentes automotivos, memórias flash/EEPROMs, sensores, transceptores de RF e sistemas micro-eleto-mecânicos. As *foundries* de nível 2, para sobreviverem nestes segmentos e nichos com tecnologias litográfica no “*trailing edge*”, precisam investir continuamente no desenvolvimento de tecnologias de processo de fabricação. Empresas de semicondutores ativas nesse segmento têm faturamento da ordem de 50 a 500 milhões de dólares por ano. Por seu lado, as 30 maiores empresas de semicondutores (fabricantes na sua maioria e apenas 2 *fabless*) em 2001 tiveram faturamento acima de US\$ 1,2 bilhão no ano.

Em Taiwan, país com expressiva participação no setor, operam 21 empresas fabricantes de chips que podem ser classificadas no nível 2, sendo que apenas uma (a TSMC, referida na Tabela 3) está capacitada em tecnologia no estado da arte com litografia avançada para ser de nível 3. Esta última compete no mercado internacional para fabricação de SoCs ou ASICs sob medida para grandes clientes – inclusive outras grandes empresas de semicondutores. O faturamento médio anual das *foundries* taiwanesas foi de US\$ 399 milhões em 2001, sendo que 50% da produção é destinada às exportações. Estas fábricas representam 63% do faturamento da indústria local de semicondutores, sendo o restante do faturamento atribuído às *design houses* (127 empresas), empacotamento (42 empresas) e testes (33 empresas)¹¹.

As *foundries* de nível 3, por sua vez, caracterizam-se pelas mega-fábricas, operando em escalas muito elevadas, operando em um mercado crescentemente concentrado. Até 2015, estima-se que haverá espaço para somente três ou cinco empresas no mundo dentro desta faixa de liderança tecnológica. Para manter sua dominância no mercado de computadores pessoais, a INTEL investe continuamente para manter-se nesse grupo, com *foundries* nível 3 e tecnologia próprias, utilizando litografia no estado da arte. Identificam-se apenas duas famílias de produtos que, pela demanda projetada, justificam com segurança os investimentos em *foundries* nível 3: os microprocessadores para computação pessoal e para computação móvel e as memórias RAM que acompanham os processadores nos sistemas. As *foundries* de nível 3 apenas viabilizam-se competindo no estado da arte e em segmentos específicos. Pelo nível de investimento requerido em mega-operações fabris, tais empresas tendem a formar consórcios pré-competitivos para realizar atividades de pesquisa e desenvolvimento para avançar o estado da arte. Em particular, o desenvolvimento dos equipamentos de fabricação de última geração para as *foundries* é feito em consórcios tecnológicos.

As *foundries* de nível 3 caracterizam-se por demandar alto volume de investimentos, da ordem de 1 a 2 bilhões de dólares. Tal investimento só pode ser recuperado com alta escala de produção (capacidade máxima acima de 25.000 lâminas por mês), visando o mercado global e utilizando processo litográfico no estado

¹¹ Estudo Booz Allen Hamilton e Escola Politécnica da USP, 2002.

da arte, segundo definido pelo painel *International Technology Roadmap of Semiconductors (ITRS) 2001*, e utilizando-se lâminas de 30 cm de diâmetro.

Identificamos três segmentos possíveis de atuação de foundries de nível 3 que podem ser objeto de ações para a atração de empresas de semicondutores para o Brasil, mesmo no longo prazo. Estes segmentos estão listados abaixo em ordem decrescente de sinergia com os demais segmentos da cadeia de engenharia de sistemas. Uma foundry de nível 3 dedicada à fabricação de memórias DRAM, por exemplo, teria pouquíssima interação com as *design houses* locais, pelo grau de especialização de seu processo de fabricação.

- **Foundries para ASICs/SoCs**

O *benchmark* internacional para esta escala de produção são as foundries taiwanesas, como a TSMC. Fabricam lâminas de silício (wafers) em grande volume, com definição litográfica abaixo de 0,18µm. Por razões econômicas utilizam lâminas de silício de maior diâmetro, de 12 polegadas, e concorrem agressivamente no mercado internacional para manterem ocupadas suas linhas de produção. Ainda que este segmento de *foundry* procure atender pequenas encomendas, os lotes de engenharia e de baixo volume não viabilizam esta escala de empreendimento. Os custos iniciais de prototipagem são significativos, devido aos altos custos de fabricação de máscaras e dos equipamentos de processo. Um conjunto mínimo de mais de 20 máscaras pode custar mais de US\$ 200 mil para prototipar, no estado da arte, a primeira amostra de um único SoC. A tecnologia que viabiliza estes lotes de engenharia nas mega-foundries é conhecida como “*multi-project-wafer*” (MPW). Adotada desde o início dos anos 80, esta tecnologia permite que mais de um lote de engenharia de circuitos integrados partilhem a mesma área de foto-exposição de uma única lâmina (*wafer*).

- **Foundry para a produção de processadores e lógica**

Pela característica de concentração do mercado de processadores de uso geral nas empresas Intel e AMD, os possíveis investidores são poucos e dotados de grande capacidade de imposição de condições aos países candidatos à instalação. A Intel mantém, até o momento, foundries apenas nos EUA e na Irlanda, e a AMD estabeleceu uma fábrica em Dresden, Alemanha, em estreita parceria com o governo alemão e outras empresas de semicondutores que não concorrem no segmento de processadores compatíveis para PCs. As foundries dedicadas à fabricação de processadores em alto volume não concorrem no segmento de ASICs/SOCs, e são poucas no mundo.

- **Foundries para fabricação de DRAMS**

São as que apresentam maior risco e requerem uma janela específica de entrada em um mercado onde a diferenciação dos produtos é bem menor do que nos segmentos de lógica, microprocessadores, ASICs e SoCs. Esta fábrica não poderia atender à demanda por produção de ASICs, haja vistas a especialização do processo para memórias dinâmicas e a dedicação exclusiva da linha de fabricação para este produto.

As ações propostas na Parte II deste documento para a atração de *foundries* partem de visões de longo prazo, demandam persistência na política e também a cuidadosa atenção aos diversos níveis de complexidade e de investimentos em cada um dos 3 níveis.

1.6 O Segmento de Back-End

A etapa final da cadeia produtiva de *chips* - encapsulamento e testes – é tradicionalmente realizada pelas próprias empresas produtoras de *chips*. Porém há uma forte tendência à desverticalização, com o surgimento de empresas independentes de *back-end* que atuam mais próximas aos clientes e requerem menores investimentos.

As empresas de *back-end* podem ser classificadas como **verticalizadas**, quando integradas à empresa de semicondutores que detém *foundry*, ou **independentes**, como é atualmente o caso da empresa brasileira ITAUCOM. Estas podem se especializar exclusivamente em *back-end* completo (encapsulamento e teste) sob contrato para empresas de semicondutores ou apenas no encapsulamento ou nos serviços de testes.

O exemplo mais emblemático de descentralização de atividade de back-end verticalizado é a fábrica da Intel na Costa Rica, especializada na montagem e teste de microprocessadores. Outro mercado para as empresas de *back-end* são as *foundries* independentes que recorrem ao *outsourcing* por serem especializadas apenas na etapa de difusão. As empresas independentes de encapsulamento e testes são encontradas predominantemente na Ásia, em Singapura, Malásia, Indonésia, Coreia e Taiwan. No Brasil, tal oportunidade foi explorada pela Itaucom e pela SID Microeletrônica, a partir dos incentivos à nacionalização proporcionados pela política de informática na década de 80. Apenas a empresa Itaucom permanece montando e testando no Brasil chips e módulos de memórias DRAM a partir de *wafers* produzidos no exterior.

1.7 Características da Demanda por Componentes

A demanda por componentes semicondutores pode ser analisada de acordo com a segmentação do mercado de equipamentos e bens de consumo de base eletrônica:

- Informática
- Telecomunicações / infra-estrutura de comutação e transmissão
- Sistemas de comunicação sem fio
- Computação móvel
- Eletrônica embarcada
- Eletrônica de consumo (áudio e vídeo)
- Optoeletrônica
- Mostradores (*displays*) e terminais variados.

Os bens finais dos vários segmentos industriais tendem a incorporar de forma crescente um ou mais dos seguintes aspectos funcionais: controle eletrônico, interatividade com o usuário, conectividade em rede de computadores – corporativas ou abertas - além de crescente grau de inteligência. A funcionalidade, seja do prosaico telefone fixo ao complexo funcionamento semi-autônomo dos satélites, está definida por sistemas eletrônicos que incorporam sofisticados *chips* que vêm gradativamente se tornando mais leves, confiáveis e impressos nas estruturas eletrônicas micro e nanoscópicas dos *chips*.

Do ponto de vista funcional, a participação dos componentes e do software embutidos nos bens finais tende a ser crescente e cada vez mais um fator de diferenciação de produtos. A participação dos componentes eletrônicos no custo dos bens finais de base eletrônica varia de 5% a 80% do custo de produção – excluídos os custos de marketing, distribuição e vendas. Este fato decorre da contínua e crescente

incorporação de componentes semicondutores na forma de hardware de altíssimo grau de integração (internacionalmente designado VLSI). Por exemplo, os veículos automotores incorporam atualmente cerca de US\$ 200 a US\$1000 dólares de módulos eletrônicos de sensoriamento, atuação automática, comunicação e controle. No Brasil, devido à concentração na produção de modelos populares, o valor médio de componentes de silício embutidos nos sistemas automotivos é de cerca de US\$122¹² por veículo montado. A participação destes componentes ou módulos eletrônicos no valor final é sensivelmente maior nos modelos mais caros e nos veículos de novas gerações. Cabe lembrar que, além de representar de 5% a 10% do custo de produção, a eletrônica embarcada é fundamental para a competitividade e funcionalidade do automóvel. No caso da indústria de aparelhos móveis de comunicação (celulares, pagers), os componentes semicondutores respondem pela total funcionalidade do bem final, além de representarem mais de 80% do custo final de produção.

A convergência crescente da comunicação móvel pessoal com bens de informática, de entretenimento e eletrônica embarcada permite antever um ciclo de demanda explosiva por bens com alto valor agregado em semicondutores. Para melhor compreensão das relações de mercado que mediam a oferta/demanda de componentes semicondutores, pode-se abordar as tendências tecnológicas do setor segundo o método de integração do hardware, do sistema em diversos módulos, placas e chips. Esta segmentação dos sistemas eletrônicos (sejam televisores, telefones, computadores, veículos, satélites, centrais de comutação, etc.) permite visualizar as oportunidades de mercado, os modelos de negócios, as cadeias de fornecimento de tecnologias/insumos/serviços e, conseqüentemente, define as tecnologias de microeletrônica que alcançam expressão econômica.

As técnicas e os métodos envolvidos nas fases de pesquisa e desenvolvimento, produção e testes de bens eletrônicos são bastante complexos e organizados em escala internacional. A identificação de oportunidades nesta indústria requer a compreensão das tendências tecnológicas para o complexo de bens semicondutores em suas diferentes fases. As empresas que dominam as inovações nos mercados de bens finais são as principais impulsionadoras da indústria de semicondutores. Suas crescentes exigências em termos de funcionalidade, redução de custos ou grau de novidade acabam por estabelecer a trajetória tecnológica da indústria de semicondutores.

A fase de engenharia de produto do bem final envolve a especificação e o projeto de sistemas, sub-sistemas e módulos. Esta engenharia de produto tem papel central no estabelecimento da demanda e evolução tecnológica dos circuitos integrados, um processo conhecido na literatura de inovação como "*demand pull*". Isso inclui tanto os componentes já em produção quanto circuitos integrados originais, ou sob medida, denominados ASICs (circuitos integrados para aplicação específica em um dado sistema). No segmento de microcomputadores, por exemplo, verifica-se um exemplo significativo da inversão desta relação: a engenharia de produto das montadoras como a Dell, HP, Compaq, etc., submete-se às especificações das empresas de componentes (processadores, memórias e *chipsets*), em cuja especificação e produção do chip não tomam parte. No segmento da indústria automotiva, a engenharia do produto do automóvel faz a definição de quais subsistemas serão automatizados eletronicamente. As empresas de semicondutores são demandadas somente após a definição sistêmica do produto por empresas montadoras, como a GM ou como a Bosch, responsáveis por subsistemas específicos, a exemplo da injeção eletrônica de combustível, ignição, computador de bordo, etc.

As empresas que projetam e fabricam *chips* dependem fundamentalmente da demanda das empresas que dominam a engenharia dos produtos. Estas, comumente, detêm o poder de estabelecer normas, especificações técnicas e de projetar sistemas.

¹² Booz Allen e Politécnica (2002)

No segmento de aparelhos móveis de telefonia celular, por exemplo, empresas como a Nokia, Motorola, Ericsson e Siemens detêm a engenharia do sistema celular e definem, a partir de suas especificações e padrões, quase sempre, quais as funções que serão projetadas para integração em *chips*, e, portanto, quais CIs serão produzidos. A demanda por inovação e o volume de produção são definições sob maior controle das empresas que detêm a plataforma de engenharia do bem ou produto final.

2. A Microeletrônica no Brasil

2.1 Breve Histórico

A implantação da indústria eletrônica no país começou na década de 60 e ganhou impulso nos anos 70 com a expansão acelerada do mercado de bens de consumo duráveis. No início dos anos 80, contando com a proteção da Política de Informática, operavam no Brasil 23 empresas fabricantes de componentes eletrônicos.

A indústria foi abalada com o anúncio do fim da política de reserva de mercado no início do governo Collor. Em 1991 foi aprovada a chamada “Lei de Informática” (Lei 8248), visando preservar a produção local de hardware. O principal instrumento adotado pela nova lei foi a isenção de IPI para produtos que cumprissem o “Processo Produtivo Básico” (PPB). Entretanto, a Lei 8248 só entrou em vigor em 1993, quando foi feita a regulamentação do PPB. Este hiato temporal se revelou letal para a indústria de componentes. Mesmo com a entrada em vigor da nova lei, não foi possível reverter a decadência da indústria microeletrônica no Brasil, na medida que os incentivos estavam orientados para a montagem de bens finais e não para a produção de seus componentes. Como não exigia índices mínimos de nacionalização para os produtos eletrônicos montados ou fabricados no Brasil, a lei não estimulou a demanda por componentes semicondutores fabricados no país.

As empresas multinacionais foram as primeiras a desativar a produção, passando a atender seus clientes no Brasil via importações. Em um período de apenas seis meses foi encerrada a produção local de semicondutores (difusão e encapsulamento) nas fábricas das empresas IBRAPE, Philinorte, NEC, Texas Instruments e Fairchild. A única multinacional que continuou produzindo por mais tempo foi a Icotron, mesmo assim limitada ao nicho específico de componentes de potência (tiristores e transistores discretos), mas acabou encerrando suas atividades produtivas quatro anos depois. As empresas nacionais continuaram a produzir por mais algum tempo, até mesmo por não disporem de alternativas para transferir a produção para o exterior. A SID Microeletrônica adiou por alguns anos o fechamento de sua fábrica mas acabou enfrentando grandes dificuldades financeiras. Em meados dos anos 90 esta empresa fechou a única planta de difusão de circuitos integrados existente no Brasil, que utilizava tecnologia bipolar, direcionada para o segmento de componentes analógicos e mistos analógico-digitais. A AsGa continuou operando para atender a demanda de sua produção de equipamentos, mas acabou por descontinuar a produção, pois a simples verticalização se mostrou antieconômica. Hoje funcionam apenas as unidades de encapsulamento de memória da Itaucom, graças ao mercado cativo do grupo Itautec-Philco e a empresa Aegis, esta última limitada a um nicho de menor complexidade (diodos de potência, componentes discretos).

Neste contexto, os fabricantes de bens finais passaram a importar conjuntos prontos (kits) para serem montados no país. Esses fatores vieram a inviabilizar o fornecimento de componentes individuais pelas empresas nacionais, mesmo aqueles produzidos em condições competitivas. A importação de um kit completo passou a ser mais vantajosa para o montador final, já que permite a redução do custo de engenharia própria e simplifica a gestão da cadeia de suprimentos.

Entre 1990 e 2000, enquanto a indústria de bens eletrônicos crescia, a produção local de componentes sofria forte retração no Brasil. A falta de articulação e de complementaridade das políticas tecnológica e industrial – e mesmo de divergências entre elas – para os diferentes setores do complexo eletrônico agravou este quadro. No período de 10 anos, a produção local de semicondutores recuou de mais de US\$200 milhões em 1989, para cerca de US\$54 milhões em 1998, segundo dados da ABINEE. Tal panorama contrasta com a situação de países que, embora partissem de um menor desenvolvimento relativo da indústria eletrônica em relação ao Brasil, adotaram políticas adequadas a partir da década de 80. Enquanto o Brasil regredia, a Coreia, Malásia e Taiwan, avançaram rapidamente na produção de bens do complexo eletrônico, em larga medida devido à coesão institucional que os respectivos governos e empresas foram capazes de criar e manter.

2.2 A Questão da Balança de Pagamentos

Um dos aspectos mais negativos da ausência de uma política de estímulo à microeletrônica no Brasil é seu impacto na balança de pagamentos. Com o encerramento das atividades produtivas locais, o mercado brasileiro de componentes eletrônicos passou a ser suprido quase que exclusivamente via importações. No caso dos componentes semicondutores, a participação da indústria brasileira no atendimento do mercado nacional foi de menos de 5%¹³ em 1998, em um mercado estimado em US\$ 2,4 bilhões em 2001.

O déficit da balança comercial brasileira de componentes eletrônicos atingiu US\$ 3,0 bilhões em 2000, conforme mostra a Tabela 5 abaixo, apresentando um crescimento de 59,6% em relação a 1996. Os circuitos integrados respondem por mais da metade do déficit, com crescimento de 91% no mesmo período. Com produção local irrisória (representando menos de 2,5% do consumo de CIs) e aumento constante da participação desses componentes semicondutores no valor dos produtos eletrônicos, em praticamente todos os setores industriais, o déficit tende a se agravar no médio prazo. Devido à queda mundial e no Brasil no setor de TI e telecomunicações em 2001-02, o déficit do setor de componentes eletrônicos reduziu-se a US\$2,5 bilhões em 2001, estimando-se déficit ligeiramente superior a US\$ 2 bilhões em 2002. O déficit é estrutural e praticamente não é afetado pelas desvalorizações cambiais. A Tabela 5 mostra a balança comercial do setor nos anos 2000-01.

A preocupação com o déficit na balança de componentes está relacionada não apenas com seu efeito negativo nas contas nacionais, mas também com o fato de seu agravamento comprometer o uso de equipamentos eletrônicos no Brasil. A exemplo do que ocorreu no passado, em um quadro de instabilidade cambial e crise nas contas externas poderão surgir restrições às importações, seja pela falta de crédito para importações ou pelo custo excessivo, em reais, de tais equipamentos para os usuários nacionais. Assim, a existência de alternativas locais de produção poderiam assegurar melhor a difusão da microeletrônica a médio e longo prazo.

¹³ O mercado interno de CIs, segundo a Abinee, atingiu US\$ 1.157 milhões em 1998 tendo as importações alcançado US\$ 1.103 milhões e a produção local US\$ 54 milhões. Em 2000, o mercado ultrapassou US\$2,1 bilhões, somando-se o consumo de CIs e de semicondutores discretos.

Tabela 5: Balança Comercial do Setor de Componentes Eletrônicos (em US\$ milhões)

Componente	Importações		Exportações		Déficit Comercial		Aumento do Déficit (1996-2000)
Ano	2000	2001	2000	2001	2000	2001	
Capacitores	200,8	153,6	39,7	39,5	161,1	114,1	76%
Resistores	94,4	82,04	18,2	11,1	76,2	70,96	66%
Diodos e Transistores (Semicondutores Discretos)	354,4	292,7	9,2	13,3	345,1	279,4	90%
Circuitos Impressos	217,5	192,8	18,7	23,3	198,8	169,5	174%
Circuitos Integrados	1.568,0	1.445,3	41,5	52,6	1.526,5	1.392,7	91%
Cinescópios e Válvulas	523,7	335,6	180,3	142,5	343,3	193,1	-28%
Dispositivos de Cristal Líquido	120,9	77,55	0,6	0,8	120,3	76,7	557%
Outros Componentes	247,4	220,7	25,6	20,2	221,8	200,5	4%
Total	3.327,2	2.800,3	334,2	303,3	2.993	2.497	59,6%

Fonte: Estudo BNDES (2001) pp.47. Dados BNDES (2002).

PARTE II

PROGRAMA NACIONAL DE MICROELETRÔNICA

PLANO ESTRUTURADO DE AÇÕES

3. A Necessidade de uma Nova Política de Microeletrônica no Brasil.

Considerando a importância econômica do uso da microeletrônica e a precariedade de sua oferta no Brasil, cabe inicialmente questionar a necessidade de sua produção doméstica para o desenvolvimento do complexo eletrônico no Brasil. Será que o projeto e/ou fabricação de dispositivos microeletrônicos constitui um elemento potencializador de sua difusão na indústria de bens finais ou sua utilização independe da capacidade produtiva local? As evidências favorecem a primeira hipótese, desde que uma condicionante prévia seja considerada: a existência de uma indústria de bens finais que desenvolva no país a engenharia do *hardware* é um fator chave para estimular a demanda por serviços locais – de *design houses*, especialmente.

Uma evidência em favor da hipótese de que a existência de capacidade de projetar, difundir, encapsular e testar circuitos integrados constitui um forte indutor da difusão da microeletrônica é a significativa correlação existente entre o nível de produção e demanda por tecnologias da informação. Como mostra Mansell e Wehn (1998), os países produtores de componentes microeletrônicos são, ao mesmo tempo, os maiores consumidores. Os pólos produtores mais dinâmicos estão situados nas regiões/países : EUA, Japão, países do Extremo Oriente (Ásia-Pacífico) e Europa Ocidental.

No caso brasileiro, a possibilidade de recuperar a capacidade de fabricação de chips em curto prazo não parece factível. Os altos investimentos necessários, a falta de investidores nacionais e estrangeiros interessados, a complexidade tecnológica e a capacidade ociosa existente a nível mundial (estimada a ocupação global de 75% da capacidade instalada das foundries em junho de 2002) constituem importantes barreiras à entrada que só podem ser superadas mediante um esforço sistemático cujos resultados serão de longo prazo. Este esforço deve combinar **ações de curto prazo**, para estabelecer os instrumentos de política fiscal, creditícia, logística e arcabouço legal adequados para atrair empreendimentos do tipo *foundry*, com políticas e ações que tenham foco, prioridade, constância e apresentem resultados no **longo prazo** – pelo seu caráter sistêmico -, e que incluam, por exemplo, a priorização da formação de recursos humanos e de investimentos em atividades de P&D relacionadas ao complexo microeletrônica.

Entretanto, a indução à inovação possibilitada pela microeletrônica poderia, em parte, ser viabilizada através das atividades de projeto (*design*) de *chips*. A relação usuário-fornecedor constitui um importante fator para a difusão da microeletrônica. A capacidade de projetar circuitos integrados - na medida das necessidades das empresas industriais que incorporam estes dispositivos em seus produtos e processos - constitui um importante indutor da difusão. Nestes casos, a recíproca é verdadeira: a existência de uma indústria independente de produtos que incorporam circuitos integrados e que, além disso, seja capaz de projetar e desenvolver sua própria linha de produtos constitui um forte estímulo para o crescimento da capacidade local de *design* de *chips*.

No Brasil, a situação atual é desfavorável tanto do ponto de vista da oferta quanto da demanda. O país não conta com uma capacidade instalada expressiva de projetistas de circuitos integrados, e igualmente não possui capacitação necessária para fabricar circuitos integrados. A ausência de atividades de engenharia de desenvolvimento de produtos finais do complexo eletro-eletrônico no Brasil não gera ainda uma demanda autônoma por *chips* sob medida, capazes de diferenciar os produtos feitos no Brasil. Em geral, os produtos eletrônicos fabricados no país são projetados no exterior e, como consequência, a escolha dos componentes e as atividades de engenharia de projeto dos componentes sob medida já foram previamente realizadas no exterior. Via de regra, considerada a preponderante atividade de montagem de bens e importação de kits, a decisão de qual circuito integrado deve ser adquirido é feita no exterior pelos grupos de engenharia das empresas matrizes da tecnologia de projeto. O padrão e conteúdo tecnológico dos componentes importados pelo Brasil segue estritamente a tendência tecnológica internacional, o que reforça o caráter estrutural do déficit da balança de componentes. Este círculo vicioso precisa ser quebrado, tanto do lado da oferta quanto da demanda, para que a indústria possa inovar e diferenciar seus produtos no mercado internacional.

A realização da etapa de projeto de CI no Brasil não terá impactos diretos sobre o balanço de pagamentos na medida em que os *chips* continuariam a ser fabricados no exterior e importados. Indiretamente, porém, criará a capacitação para uma eventual diferenciação dos produtos do complexo eletrônico produzidos no Brasil. Isto representa uma externalidade positiva, que poderá ou não ser utilizada pela indústria local de bens finais, dependendo dos custos e das estratégias de produtos, que poderão ou não utilizar *chips* dedicados. Nos bens de capital e de consumo de base microeletrônica, o valor agregado é geralmente maior na informação e tecnologia embutida no produto do que no processo de montagem ou fabricação em si. Portanto, participar da etapa de projeto dos produtos é uma forma de auferir maiores benefícios econômicos e gerar empregos mais qualificados.

Dado o quadro atual de elevado déficit na balança comercial brasileira de componentes eletrônicos, em particular no segmento de semicondutores, todas as ações que visem agregar valor a componentes no Brasil deverão impactar positivamente esta balança. Em particular, as atividades de montagem de circuitos integrados (*back-end*) apresentam este potencial, desde que seja garantida a agregação de valor na etapa realizada no Brasil, evitando-se práticas de transferências de preços intra-firma que artificialmente neutralizem o impacto positivo na balança. Por outro lado, a ação de atração de investimentos reconhece no *back-end* a etapa produtiva que requer investimentos comparativamente menores e que pode ser viabilizada em prazo mais curto do que a etapa de fabricação das lâminas (*wafers*) nas *foundries* de silício. Identificam-se dois fatores que favorecem o aprofundamento da atração de empresas para o *back-end*. Primeiro, a existência de capacidade já instalada para encapsulamento e testes de memórias no país constitui uma oportunidade a ser explorada a curto prazo. Segundo, é necessário fomentar a entrada de novas empresas neste segmento da indústria para estimular a competição, o que é em princípio possível pela atratividade representada pela presença significativa no Brasil de empresas de montagem de placas (as “*electronic manufacturers*” contratadas por terceiros, ou OEM), que produzem em larga escala.

Mesmo não sendo o momento macroeconômico mais propício para a atração de investimentos em microeletrônica, especialmente face à atual conjuntura adversa no setor eletrônico no biênio 2001-02, é possível mitigar algumas dificuldades correntes por meio da estruturação de um arcabouço institucional destinado a criar condições objetivas para atrair investimentos visando alcançar progressivamente o ciclo completo do processamento de circuitos integrados no país.

A situação em que se encontra o complexo eletrônico no país indica a necessidade de uma ação governamental articulada no sentido de promover o desenvolvimento e a competitividade do setor, com a finalidade de atenuar o déficit comercial, reduzir a dependência tecnológica externa e incentivar o domínio do processo de inovação tecnológica no Brasil.

4. Instrumentos de Política

Após uma década marcada pela globalização, de abertura comercial e adesão a acordos internacionais nas áreas de comércio e propriedade industrial, o arsenal de políticas industriais e tecnológicas disponível para desenvolver a indústria microeletrônica é bem mais limitado do que o utilizado no passado por países como Coréia e Taiwan. Não obstante, um conjunto de instrumentos, aceito no âmbito da OMC e dos acordos regionais, como o Mercosul, pode ser utilizado para promover a indústria nacional neste milênio. A preocupação é não apenas respeitar acordos multilaterais, mas também garantir a inserção da indústria no mercado internacional e a competitividade da indústria à jusante. Neste contexto, estão disponíveis os seguintes tipos de incentivo:

- **Fiscais:** redução/eliminação/deferimento de taxas, contribuições e impostos federais e estaduais.
- **Creditícios:** financiamentos, com taxas reduzidas, ao investimento, P&D e comercialização, através das agências de desenvolvimento industrial e tecnológico.
- **Capacitação Tecnológica:** formação e treinamento de recursos humanos, investimentos em P&D e bolsas de fomento tecnológico, contando com recursos de fundos setoriais.
- **Outros:** facilidades para agilização logística e alfandegária, regras e práticas burocráticas ágeis para importação e exportação, política de compras governamentais e de encomendas tecnológicas, incentivos estaduais e municipais, participação pública em investimentos de risco, incentivos à engenharia de projeto local do *hardware*, entre outros.

Tais instrumentos estão listados na Tabela 6, segundo sua aplicação atual ou potencial nos três segmentos da indústria de semicondutores. Eles serão discutidos e detalhados nos subprogramas específicos.

4.1 Incentivos à Demanda

O diagnóstico realizado na primeira parte deste documento, em especial das tendências tecnológicas internacionais na microeletrônica e do padrão de inserção brasileira no quadro internacional como pólo de montagem de bens finais para o mercado local, indica que o Programa Nacional de Microeletrônica deve mobilizar com alta prioridade os instrumentos de estímulo à demanda de mercado. Faz sentido coordenar políticas de diferentes naturezas com vistas a incentivar a demanda por serviços qualificados de engenharia e por componentes semicondutores demandados por estes. Os instrumentos de incentivo no Brasil devem apoiar a demanda por:

- ◆ Projeto local de bens finais, com conteúdo de engenharia própria nas empresas instaladas no Brasil. Os incentivos desta natureza conduzem naturalmente na direção de incentivar o segmento de serviços de projeto de CIs e sistemas, as *design houses*.
- ◆ Protótipos de bens de base eletrônica, a serem projetados e testados pela engenharia das empresas localizadas no país. O conteúdo local de

engenharia é importante, ainda que o protótipo não venha a alcançar a escala de produção.

- ◆ produção de pequenos volumes de CIs adaptados e/ou projetados pelas empresas brasileiras, mobilizando incentivos e financiamentos direcionados à inovação.

Os mecanismos e instrumentos possíveis são:

- incentivar a instalação de grupos de engenharia (DH1) de chips de empresas internacionais de semicondutores, bem como apoiar a criação de design houses do tipo DH2 e DH3 no Brasil.
- Utilizar recursos do FNDCT e dos fundos setoriais mediante regras específicas para estimular e financiar parcialmente tanto o projeto no país quanto a prototipação (no exterior e, futuramente, no país) de *chips* que serão utilizados em bens finais a serem produzidos no país.
- Fornecer créditos de IPI aos compradores de componentes projetados, difundidos ou encapsulados no Brasil, simultaneamente à concessão de isenção de IPI às *foundries* ou empresas de *back-end* instaladas ou a serem operadas no Brasil.
- Apoiar as poucas empresas já operando no Brasil, para que atualizem o parque e expandam a produção no país.
- Mobilizar o poder regulatório (da ANATEL, da SEPIN/MCT, por exemplo) e o poder de compra do governo federal e do FUST para viabilizar encomendas tecnológicas no país de bens de base eletrônica. Pode-se citar como exemplos: terminais de serviços públicos, terminais de baixo custo para ampliação do acesso à internet em escolas, bibliotecas e espaços públicos, smart-cards para instituições públicas de segurança e saúde, serviços locais de radiodifusão – como a TV no padrão digital – que utilizem componentes projetados sob medida no país para estes sistemas e serviços. O exemplo da urna eletrônica encomendada pelo TSE por licitação deve ser aperfeiçoado, mobilizando agentes críticos.

Tabela 6: Matriz de Instrumentos de Política para o Setor de Microeletrônica

Instrumento/Setor	Design	Difusão	Back end
Processo Produtivo Básico (PPB)	Não se aplica	PPB atendido automaticamente.	PPB específico para encapsulamento e teste. PPB deve evoluir para estimular uso de componentes projetados, difundidos e/ou montados no país
Diferimento/Isenção de IPI	Isenção na importação de nonPC workstations e CAD (sem similar nacional)	Lei de Informática. Isenção de IPI nos insumos importados (wafers, gases, partes, etc)	Lei de Informática. Diferimento/isenção de IPI s/wafers importados difundidos*
Isenção/redução/diferimento de imposto de importação	Idem na importação de non PC workstations e CAD	Isenção para bens de capital e insumos diretos do processo	Regime de drawback Regras de diferimento**
Isenção/redução/Diferimento de ICMS/ISS	Incentivos municipais a negociar (ISS)	Incentivos estaduais a negociar (ICMS), possivelmente até a isenção.	Incentivos estaduais a negociar, tendendo à isenção. Atualmente há redução de 12% para 7% (c/PPB) em Estados produtores
Isenção/Redução de	PDTI/Lei 8661	Depreciação	Depreciação acelerada

Instrumento/Setor	Design	Difusão	Back end
Imposto de Renda		acelerada (2 anos) dos bens de capital do processo/difusão. Regras para remessa de lucros.	(2 anos) dos bens de capital dos processos de encapsulamento e teste
Regras de importação e exportação	Garantia de privacidade nas conexões Internet	Regime alfandegário simplificado	- Regime alfandegário simplificado (ex. linha azul, Recof) - Draw back
Logística de Serviços Públicos	Telecomunicações	Energia, água. Aeroporto, Telecom.	Energia. Aeroporto.
Regras de proteção à propriedade intelectual	Lei do copyright*** Privacidade/Internet	Segredo industrial (processo de fabricação).	
Fundos Setoriais	FUNTEL Fundo de Informática Fundo verde-amarelo Fundo infra-estrutura	FUNTEL Fundo de Informática Fundo verde-amarelo Fundo infra-estrutura	FUNTEL Fundo de Informática Fundo verde-amarelo
FINEP	- Finep Tecnologia - Programa Inovar - Apoio a incubadoras - Apoio ao contratante de projetos de CIs	FNDCT	FNDCT
BNDES	Prosoft	- Financiamento à implantação**** - Participação acionária (BNDESPAR)**** * Financiamento às exportações	- FINAME Componentes (Financiamento à comercialização) - Financiamento à expansão - Financiamento à implantação - Financiamento às exportações
Compras governamentais e encomendas tecnológicas	Encomendas de projetos inovadores de interesse público.	Encomendas de novos processos e chips.	Não se aplica
Fundações Estaduais (FAPESP, FAPERGS, etc.)	Bolsas Apoio institucional, incubadoras	Bolsas Apoio institucional, financiamento a P&D	Não se aplica
CNPq	Bolsas RHAE, mestrado, doutorado, produtividade em pesquisa, recém doutor, formação de especialistas	Bolsas RHAE, mestrado, doutorado, produtividade em pesquisa, recém doutor	

* Diferimento vinculado ao valor agregado localmente.

** Isenção do imposto de importação para agregação local de valor superior a 20%.

*** Lei de Proteção/copyright para máscaras (já existente).

**** Até 80% do investimento no prazo de 10 anos.

***** Até 20% do capital social.

5. Oportunidades e Desafios para Inserção do Brasil na Cadeia Produtiva Mundial de Design Houses, Foundries e Back-End.

Design Houses

Dentre os três segmentos da cadeia produtiva dos semicondutores, a etapa de projeto (DH) é a que melhor se configura como janela de oportunidade para o Brasil. Além de menores investimentos, tal oportunidade é reforçada pela tendência de empresas independentes de projetos de CI de sub-contratarem módulos ou células de um *chip* completo junto a projetistas independentes especializados.

O Programa Nacional de Microeletrônica propõe ações específicas para o desenvolvimento do segmento de projeto de circuitos integrados no Brasil. As oportunidades nesta direção decorrem de:

- Tendência mundial à desverticalização na cadeia produtiva de CI, que favorece as atividades independentes de *design*.
- Existência de uma base de recursos humanos capacitada a projetar circuitos integrados no Brasil a custos de engenharia competitivos em termos internacionais.
- Tendência à internacionalização das atividades de engenharia, através de projetos simultâneos e cooperativos utilizando a Internet e Intranets. Tal tendência é reforçada por crescente especialização e modularização da atividade de design, permitindo a partição de sistemas completos em Systems on a Chip (SoCs) e também a subcontratação do projeto de partes destes sistemas. A necessidade de acelerar o ciclo de desenvolvimento do projeto estimula o desenvolvimento conjunto em regiões com diferentes fusos horários.
- Tendência à comercialização de módulos de IP via componentes virtuais.
- Carência internacional de projetistas de *chips* e de *hardware* dedicado.
- Modelo de organização do trabalho em *design houses* similar às empresas de *software* e serviços já existentes no Brasil.
- Investimentos fixos relativamente baixos na constituição destes empreendimentos de engenharia de base eletrônica, similares aos custos de instalação de empresas de software.

Foundries

A possibilidade de inserção torna-se factível a partir de investimentos na escala de foundry de nível 1, que está focada na produção de protótipos de *chips* e na produção em baixo volume.

Uma oportunidade surgida recentemente foi a transferência para o Brasil de tecnologia CMOS e de equipamentos de difusão em fase de desativação pela empresa americana Motorola Inc. Esta iniciativa resultou em protocolos de intenções com o PNMicro de 2001 e adesão do Estado do Rio Grande do Sul, dando origem ao CEITEC (Centro de Excelência em Tecnologia Eletrônica Avançada). O CEITEC tem como meta focar a produção em baixo volume, com *yield* industrial para uma tecnologia CMOS 0,8 μ m que já opera industrialmente na Motorola. A área de desenvolvimento do CEITEC fará a prototipagem de pequenas séries nesta tecnologia e desenvolverá processos diferenciados, ancorada em fotolitografia com limite inferior de definição, na faixa de 0,5 μ m a 0,6 μ m.

Outra oportunidade complementar para reinserir o Brasil na produção de CIs seria promover o upgrade das instalações e dos equipamentos do Centro de Semicondutores sediado no campus da Unicamp, focada na formação de recursos humanos e em inovação nos processos físico-químicos de circuitos em silício.

As atividades dos dois centros-âncora seriam vinculadas com uma atuação coordenada e complementar com os seguintes centros:

- Centro de Pesquisas Renato Archer do MCT, especializado nas áreas de caracterização de componentes, encapsulamento, fabricação de máscaras e de mostradores;
- Centros brasileiros de desenvolvimento, análise e caracterização de materiais;
- Instituições de pesquisa brasileiras com competência para formar recursos humanos específicos para a área.

O investimento em capital fixo nos dois centros-âncora é estimado em cerca de 40 milhões de dólares, supondo um prazo de dois anos para a respectiva instalação, já considerando a colaboração, transferência de tecnologia de processo e a doação de equipamentos pela Motorola, de acordo com os protocolos de adesão ao Programa Nacional de Microeletrônica. Estes projetos originaram-se da doação aos dois centros-âncora de equipamentos de plantas desativadas em 1999 e 2002 (planta MOS 8) pela empresa Motorola Inc. nos EUA.

Para avaliar a sustentação econômica do projeto, a FINEP apoiou a realização de estudo de identificação de nichos de mercado de circuitos integrados possíveis de demanda por fabricantes de bens finais, seja no Brasil ou no exterior, bem como das dificuldades para acessar a demanda de serviços de produção em baixo volume. A sustentação econômica do projeto considera que, além dos elevados custos operacionais anuais (estimados na ordem de US\$2 milhões por ano), deve-se agregar uma previsão de custos de investimento para a atualização futura da planta. Assim sendo, as receitas de serviços de prototipagem e de produção em baixo volume podem não cobrir os custos pela falta de demanda local. Atualmente, a demanda por projetos customizados de chips no país é quase inexistente, devida a limitada realização de projeto dos bens finais no Brasil. Existem algumas possibilidades de desenvolver um mercado de projetos mapeados em FPGAs. Ainda assim, a eventual demanda por prototipagem e por produção em baixo volume poderia ser atendida exclusivamente por foundries estrangeiras.

Não obstante a avaliação econômica do projeto, deve-se considerar suas possíveis externalidades positivas. Dentre estas, deve ser ressaltada a contribuição da operação do CEITEC ao processo de inovação tecnológica, dado o caráter pioneiro no país, e também pela sua utilização pelas universidades e centros de pesquisa para a formação de recursos humanos em tecnologias de processamento de silício e de dispositivos micro e nano-eletrônicos. Além disto, admite-se que uma *foundry* nível 1 representa o menor investimento possível para o adensamento da cadeia produtiva de semicondutores no Brasil.

Alguns especialistas da área de microeletrônica levantam duas limitações para a utilização da planta do CEITEC para o esforço de capacitação tecnológica e para a formação acadêmica. A primeira se deve ao fato da planta doada ser intrinsecamente uma planta para operar de forma contínua, com qualidade e limpeza de grau industrial, não sendo assim adequada para a formação de pessoal e realização de P&D. Operando com lotes de 1 a 25 wafers, o processamento não pode ser perturbado pela participação de *staff* não profissionalizado no processo. A alternativa para superar esta dificuldade é a operação da área de pesquisa, formação de pessoal e P&D acadêmico, em ambiente de classe 10000, no mesmo campus do CEITEC. A segunda limitação é que os mesmos resultados acadêmicos (poucas

etapas da tecnologia de processo físico-químico e formação profissional e acadêmica) poderiam ser obtidos por um custo muito menor, com a modernização de centros universitários já existentes em Campinas, São Paulo, Porto Alegre e Recife.

Experiências similares no cenário internacional, entretanto, permitem uma visão mais otimista sobre este tipo de empreendimento. Um exemplo é o centro finlandês da VTT, um instituto público de P&D que mantém estreita interação com centenas de pequenas empresas de alta tecnologia localizadas na região. O VTT possui um centro de tecnologia em semicondutores, com tecnologia CMOS 0,8µm especializado em P&D para módulos de processo para circuitos integrados aplicados à comunicação em RF. O centro buscou uma especialização dentro do espectro de tecnologias CMOS. Outros centros como o IMS – Stuttgart (Alemanha), o IMEC (Bélgica), o CSEM (Suíça), o CIME (França) são exemplos de *foundries* de nível 1 que se especializaram em prototipação de CI e fornecimento de serviços tecnológicos habilitadores de inovações.

A gestão de um empreendimento de *foundry* nível 1 no Brasil demanda um arranjo institucional e uma adequada articulação com vários agentes. A gestão desta iniciativa, se financiada com recursos públicos, deve garantir o cumprimento de metas e o trabalho em rede dos centros de competência brasileiros em tecnologias relacionadas ao silício.

Back-End

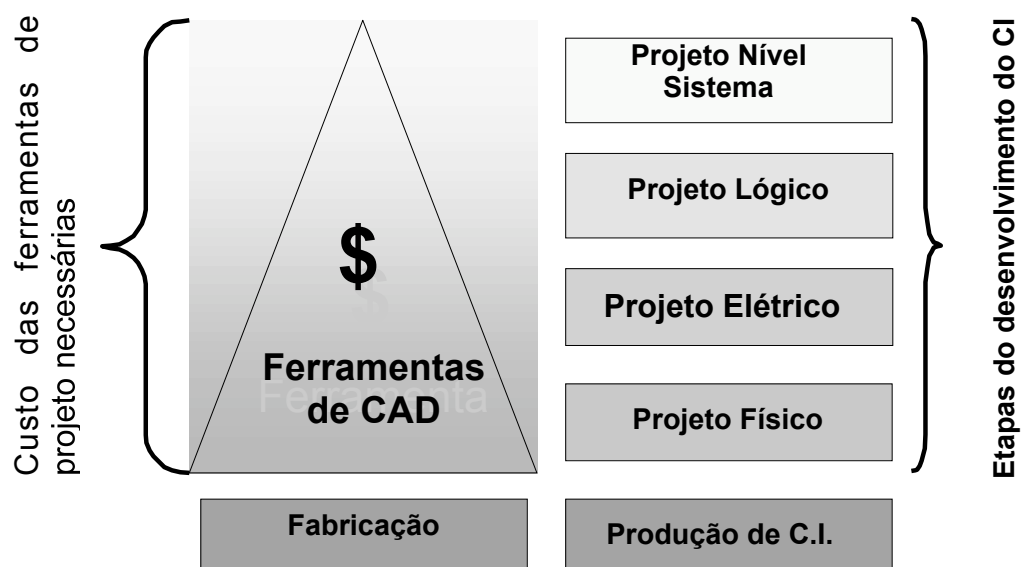
As principais janelas de oportunidade para a expansão das atividades de *back-end* no Brasil resultam dos seguintes fatores:

- Tamanho do mercado interno brasileiro.
- Possibilidade de atendimento diferenciado e customizado em nichos fora do interesse das grandes operadoras, incluindo o encapsulamento e teste de chips para os seguintes segmentos.
 - Memórias para microcomputadores (SDRAM e SRAM).
 - Memórias flash para microcomputadores e *handsets* de telefones celulares.
 - Backend para o segmento automobilístico, para os setores industrial, eletrônica de consumo, smart cards.
- Possibilidade de investimento em encapsulamento e testes por parte de empresas que executam CEM (Contract Electronic Manufacturing) no Brasil, tais como as empresas Solecron, Celéstica e ex-Flextronics. Como se sabe, essas são grandes demandantes de *chips* para suas atividades de montagem final.
- Investimento acessível (da ordem de US\$20 milhões para operações de serviços de teste a US\$ 200 milhões para encapsulamento e teste em alto volume de produção).

6. Subprograma Projeto de Circuitos Integrados (Design Houses)

Este subprograma apresenta uma revisão do relatório elaborado pela Secretaria de Política de Informática do MCT para o segmento de *design houses*. Não foram incluídas as previsões de investimento e custeio, tendo em vista as alterações de escopo no documento da SEPIN/MCT – Programa Nacional de Microeletrônica – Design Houses de julho de 2001.

Dependendo do porte da *design house*, o investimento necessário para sua criação varia de acordo com a complexidade e etapas de desenvolvimento que serão realizadas. Quanto mais detalhada e próxima do processo de fabricação, maiores serão os investimentos necessários em ferramentas de software para desenvolvimento, como ilustrado na figura abaixo:



Alguns mecanismos que permitem diminuir este investimento são:

- Aluguel de ferramentas ou realização de processos finais de produção junto às foundries.
- A especialização no design de CIs digitais, utilizando exclusivamente o mapeamento das funções para FPGAs, permite fixar-se na etapa de projeto em nível de sistema e projeto em nível lógico. Neste caso, o custo das ferramentas de EDA são substancialmente menores, da ordem de poucos milhares de dólares.
- Concentração de licenças mais caras em centros de uso compartilhado por design houses filiadas, já que as ferramentas que demandam maior investimento são utilizadas apenas nas etapas finais do projeto de CIs.
- Coordenação para realização de projetos defasados no tempo, já que muitas ferramentas são utilizadas apenas em etapas específicas do projeto.
- Compartilhamento de bancos de licenças via rede.

6.1 Objetivos do Subprograma

- a) Ampliar a capacitação de recursos humanos na área de projetos de circuitos integrados (CI), visando atender às necessidades de empresas de design e instituições de ensino e pesquisa.
- b) Atrair para o Brasil atividades de design desenvolvidas internacionalmente por empresas do setor de TIC (INTEL, AMD, Ericsson, NEC, Nokia, Bosch, Siemens, etc).
- c) Atrair para o Brasil empresas internacionais independentes, especializadas em *design*.
- d) Estimular a formação de *design-houses* brasileiras e/ou atividades de projeto de CI em empresas brasileiras de TIC.
- e) Estimular o desenvolvimento da engenharia de produto de bens finais no Brasil, com foco em sistemas do complexo eletrônico.
- f) Estimular o desenvolvimento de ferramentas de CAD eletrônico por software houses no Brasil.
- g) Criar sinergias e economias externas para centros de *design* através da criação de centros tecnológicos dotados de infra-estrutura avançada de telecomunicações, software especializado, estações de trabalho e bibliotecas de uso compartilhado.
- h) Aumento da competitividade da indústria nacional, em vários setores da economia, através do desenvolvimento de produtos diferenciados e maior agregação de valor.

6.2 Ações Estruturantes para o Desenvolvimento de Design Houses no Brasil

➤ Ação I: Capacitação e Especialização de Projetistas de Circuitos Integrados

A capacitação e especialização de projetistas de CIs tem como meta o treinamento prático em projeto de circuitos integrados. O Subprograma original de *design houses* prevê, nos três primeiros anos, a formação de 300 profissionais em cinco centros. Diante das incertezas em relação à capacidade de absorção do mercado, diante da crise pela qual passa o setor, sugere-se que inicialmente este número seja reduzido para a formação de 140 profissionais em três centros, podendo ser ampliado caso haja demanda efetiva. Esta ação visa atender, a curto e médio prazo, a necessidade de formar profissionais capacitados para a concepção e projeto de CIs. Um dos principais problemas atualmente enfrentado pelos poucos núcleos de desenvolvimento de projeto de CIs no Brasil é a falta generalizada de profissionais especializados com experiência profissional no mercado de projetos de circuitos integrados em silício.

Há, porém, mais de vinte grupos universitários já atuantes no Brasil, capacitados com mestres e doutores, que provêem a formação básica em projeto de circuitos integrados, dispositivos elétricos e opto-eletrônicos. Estes grupos já formam recursos humanos em nível de graduação (especialmente utilizando alunos de iniciação científica em Engenharia e Computação), mestrado e mesmo no nível de doutorado. O Anexo 2 apresenta um levantamento das competências técnico-científicas na área de projeto de CIs e CAD no Brasil.

O curso de especialização, capaz de adaptar o perfil de engenheiros e outros profissionais de nível superior de formação afim, é uma forma mais imediata de suprir o mercado com pessoal qualificado, enquanto as universidades estruturam seus

cursos de graduação e pós-graduação para atender a essa nova e crescente demanda, de forma abrangente e duradoura.

A especialização de recursos humanos, no curto prazo, basear-se-á no curso de projetista de circuitos integrados desenvolvido e ministrado pelo Instituto Eldorado em colaboração com empresas e grupos universitários. Este curso vem sendo apoiado pelos incentivos previstos pela Lei de Informática, através de convênio com a Motorola (Jaguariúna, SP), e com recursos do fundo setorial Verde-Amarelo liberados em 2002, para a formação de profissionais aptos a projetar CIs com qualidade internacional. Parte significativa dos recursos humanos treinados vem sendo absorvidos pela própria Motorola.

A ação compreenderá duas fases. Na primeira, o curso será ministrado no Instituto Eldorado por professores de universidades brasileiras e projetistas profissionais especificamente contratados, com o duplo intuito de preparar projetistas e novos instrutores para o Programa Nacional de Microeletrônica. Na segunda, o curso será ministrado simultaneamente no Instituto Eldorado e em mais duas cidades brasileiras, de modo a permitir a extensão dos resultados a outras regiões do País. Em cada curso, serão especializados até 20 profissionais, ao longo de nove meses com dedicação integral, atingindo 140 profissionais em três anos.

Tabela 7 : Especialização de Projetistas de Circuitos Integrados
 Proposta – Brasil

Período	Eldorado	Instituição A	Instituição B	Total
Ano 1	20	-	-	20
Ano 2	20	20	20	60
Ano 3	20	20	20	60

O custo estimado por aluno formado no PNM, uma vez que os centros de treinamento estejam instalados e operando, será de cerca de R\$ 20 mil, ou de R\$2.220,00 por mês, segundo estimativa do projeto original.

O curso terá duração total de 540 horas e permitirá a especialização de profissionais e futuros instrutores em projeto de circuitos integrados analógicos, digitais e mistos. Sua aplicação será sempre realizada com a participação ativa de docentes de universidades brasileiras e de profissionais com grande experiência empresarial. Os profissionais a serem treinados deverão possuir graduação em engenharia elétrica, computação, física ou áreas afins. As atividades serão distribuídas em três módulos: nivelamento, aprofundamento e treinamento em condições reais (on the job training).

O módulo de nivelamento, de 120 horas, tem caráter temporário e deverá ser progressivamente substituído, na medida em que estejam disponíveis profissionais com formação mais completa. Os temas abordados são típicos de um curso de graduação específico: fundamentos de microeletrônica, tecnologia de circuitos integrados, projeto de circuitos digitais, dispositivos semicondutores, metodologia de projeto de circuitos integrados, linguagens de descrição de hardware, ferramentas e ambientes de CAD e metodologias de teste e validação.

O módulo de aprofundamento, de 240 horas, engloba disciplinas teóricas, práticas de laboratório e seminários. Os temas selecionados têm a dupla função de colocar os alunos em contato com tópicos normalmente ausentes de currículos de graduação, mesmo específicos, e com a tecnologia mais atual nessa área de atuação: *spec tagging*, *design for manufacturing*, *design for testability*, *semiconductor reuse standards* (SRS), metodologia *system-on-a-chip* (SOC), processadores e controladores embutidos, análise estatística, *lay-out* profissional, pós-processamento de *lay-out*, verificação de projeto, validação de CIs, etc.

O módulo *on the job training*, de 180 horas, tem o objetivo de simular condições reais de trabalho em uma *design house*. Sob a supervisão contínua de profissionais experientes e atuantes, o aluno desenvolverá um projeto completo de blocos de circuitos integrados reais a partir de especificações também reais, em ambiente profissional no estado da arte. Durante esse período, também serão realizadas atividades destinadas a estimular e desenvolver o empreendedorismo dos participantes. O regime do curso é de dedicação exclusiva, sendo os participantes selecionados a partir de edital público e contemplados com bolsas de estudo durante toda a duração do treinamento, de modo a garantir total atenção e dedicação ao aprendizado.

➤ **Ação II – Capacitação e Formação de Recursos Humanos em Projeto de Circuitos Integrados em Nível de Graduação e de Pós-Graduação**

Ressalta para a competitividade da indústria eletrônica brasileira a importância da formação de recursos humanos de alto nível, com formação na graduação e na pós-graduação em Microeletrônica, especificamente na área de projeto de *chips* e desenvolvimento de software de EDA.

O Anexo 2 apresenta um mapeamento das competências técnico-científicas atuantes no Brasil nos centros de ensino e pesquisa. Os dados demonstram cerca de 61 grupos de pesquisa ativos com foco em micro e opto-eletrônica, em cerca de 38 instituições, majoritariamente de ensino superior. Atualmente, estima-se a formação de cerca de 60 mestres e doutores por ano. O Anexo 3 lista os principais grupos de pesquisa, e o Anexo 4 sumariza a distribuição de 108 grupos de pesquisa com foco em algum aspecto dos semicondutores – da ciência básica à caracterização eletro-eletrônica.

Recomendações específicas para a Ação de Apoio à Formação de RH em projeto de Circuitos Integrados incluem:

- Atualização, com base em dados da CAPES e do CNPq, das informações sobre os grupos e número de profissionais atuantes na formação, pesquisa e desenvolvimento em microeletrônica e em projeto de CIs, especificamente, conforme as tabelas do Anexo 2.
- Elaborar a relação de temas de trabalho mais prevalentes entre os grupos universitários e identificação de lacunas não atendidas pelas IES. Por exemplo, a formação em encapsulamento não é enfatizada por estas.
- Atrair os profissionais e pesquisadores brasileiros no exterior para a interação com empresas e Universidades no Brasil – viabilizando para alguns o seu retorno ao país.
- Atrair pesquisadores (docentes, pesquisadores e alunos) para a área mediante uma ação específica combinando bolsas de formação e de fomento tecnológico nas agências federais e FAP's.
- Oferecer bolsa didática e de apoio à pesquisa para novos docentes pesquisadores na área.
- Oferecer bolsas diferenciadas para formação pós-graduada, em vista do modesto valor atual das bolsas CNPq e CAPES.
- Manter o apoio à formação no exterior, para engenheiros, mestrados e doutorandos vinculados aos temas-chave do PNM e matriculados em programas de PG no país.
- Manter o apoio à formação pós-graduado de brasileiros no exterior em grupos acadêmicos fortemente inovadores.

- Estimular a criação de cursos interdisciplinares de Doutorado em microeletrônica, nos moldes propostos pela CAPES em 2002.
- Organizar a oferta de cursos específicos de extensão, no modelo do programa internacional europeu denominado “Europractice”.
- Reequipamento da infra-estrutura dos grupos que contribuem para a FRH.
- Organizar uma iniciativa interinstitucional colaborativa para promover a produção intelectual (módulos de IP) de *designers* em trabalho acadêmico ou trabalho pré-competitivo.
- Apoiar a prototipação de chips nos programas de Projeto Multi-usuário (PMU) abertos, nos moldes em que estão institucionalizados nos EUA (Centro Mosis), na França (atividade CMP no Instituto Nacional Politécnico de Grenoble) e na União Européia (EuroPractice).

➤ Ação III - Atração de design houses

Visa atrair de imediato atividades de *design* de empresas internacionais de semicondutores e *design houses* independentes, com base na oferta de recursos humanos qualificados e um conjunto de incentivos que será detalhado adiante. A médio prazo e longo prazo, pretende-se atingir uma base sólida de *design houses* nacionais, seja na forma de empresas independentes ou vinculadas a grupos fabricantes de bens finais de base microeletrônica.

A) A atração de design houses internacionais

A atração de *design houses* internacionais é fundamental para o processo de desenvolvimento do setor de microeletrônica no Brasil. As *design houses* internacionais, atuando como qualificadoras, centros de suporte e *brokers* para as *design houses* brasileiras, facilitarão o acesso destas ao mercado internacional. O PNM buscará atrair empresas que já atuam no cenário internacional de projetos de CIs, com demandas e rede de contatos bem estabelecidos. Estas podem estar ligadas a grupos dedicados apenas a projetos e desenvolvimento ou mesmo ligadas a multinacionais do ramo de semicondutores. O desafio desta linha de ação é ordenar um conjunto de estímulos que torne o país atrativo para instalação de *design houses* internacionais de excelência, vis a vis às oportunidades de países concorrentes.

Os principais objetivos da atração de *design houses* internacionais são:

- **Foco no mercado internacional:** As empresas atraídas para o Brasil terão inicialmente que produzir *design* de *chips* focadas predominantemente para o mercado mundial. Em uma segunda etapa, as *design houses* poderão estimular e desenvolver o mercado brasileiro para estes serviços. As empresas brasileiras de bens finais, como se sabe, não demandam projetos customizados de *chips* – à exceção daquelas que desenvolvem a engenharia de produto no país e que via de regra utilizam, nos módulos digitais, a metodologia de projeto mapeado para chips do tipo FPGAs (Field Programmable Gate Arrays).
- **Pessoal qualificado em tecnologia e mercado:** Ao se instalarem no Brasil, essas empresas contratarão profissionais brasileiros com grande qualificação em engenharia de projeto e provavelmente integrarão nestes grupos profissionais mais experientes, “repatriados” do exterior – brasileiros ou não – propiciando disseminar uma cultura de desenvolvimento alinhada às necessidades e padrões de competitividade exigidos pelo mercado mundial. A oportunidade de repatriar brasileiros atuantes em microeletrônica no exterior decorre desta ação.

- **Formação de cultura e marca no Brasil:** A realização de projetos de *chips* no Brasil, mesmo que executados por *design houses* estrangeiras aqui atuantes, irá gradativamente tornar o país um centro competente de desenvolvimento no setor.
- **Acesso ao mercado:** Utilizando a rede mundial de contatos já estabelecida, as *design houses* controladas do exterior poderão executar o papel de *brokers* e certificadoras, intermediando negociações entre *design houses* brasileiras de menor porte, ou mesmo contratando-as para realizar parte de projetos mais complexos que estejam realizando para seus clientes.
- **Impulso inicial para o Programa Nacional de Microeletrônica:** Devido à escassez de recursos humanos qualificados, falta de cultura de desenvolvimento de projetos e de interação com o mercado mundial, as *design houses* atraídas terão papel determinante para impulsionar as primeiras etapas do desenvolvimento do segmento de projetos de CIs e também de sistemas completos de *hardware* no Brasil.

Mecanismos de Operacionalização

- **Qualificação dos recursos humanos:** as *design houses* poderão beneficiar-se da formação de projetistas prevista no Programa Nacional de Microeletrônica, treinando seus profissionais ou contratando profissionais já formados nos cursos ministrados.
- **Infra-estrutura tecnológica:** as *design houses* poderão utilizar recursos próprios no âmbito da Lei de Informática para cobertura de investimentos em infra-estrutura tecnológica, bem como poderão acessar e se beneficiar da infra-estrutura implantada pelo próprio Programa Nacional Microeletrônica em termos de conectividade e centros de pesquisa.
- **Facilidades para instalação no Brasil:** as *design houses* atraídas poderão contar com programas especiais para facilitar sua instalação e fixação no país, incluindo o apoio negociado e propiciado por Estados e cidades que venham a sediar estes empreendimentos em locais como parques tecnológicos, centros de incubadoras tecnológicas e similares.
- **Incentivos Fiscais:** isenção de impostos na importação de *Workstations* sem similar nacional, como os servidores Unix de alto desempenho (não baseados em plataforma Microsoft/Intel PC padrão), utilizados por *design houses* com grandes bases de dados de projetos.
- **Linhas de crédito** especiais da Finep e BNDES, especialmente na modalidade de apoio à inovação, tipicamente presente no projeto de chips.

B) A criação de design houses nacionais

Os objetivos da criação de *design houses* nacionais são:

- Desenvolvimento de uma base local de empresas que atuem no mercado de microeletrônica;
- Formação de cultura e marca e retenção de profissionais no Brasil;
- Estimular o desenvolvimento de projeto de bens finais no país através da oferta de serviços especializados de *design*.
- Estimular a criação de empresas locais, especializadas em serviços de desenvolvimento de software para automação do projeto eletrônico, tendo em vista a constante atualização e desenvolvimento de novas ferramentas de *software* de apoio ao projeto de *chips* (o software de EDA – *electronic design automation*).

Mecanismos de Operacionalização

Para estimular a criação e o desenvolvimento de *design houses* no Brasil deverão ser concedidos os seguintes incentivos:

- **Recursos não reembolsáveis:** em projetos cooperativos com instituições de pesquisa, a parte de desenvolvimento a ser realizada por estas instituições poderá ser parcial ou totalmente suportada a fundo perdido, através dos fundos setoriais.
- **Financiamento:** Os custos de desenvolvimento poderão ser financiados através das linhas tradicionais da FINEP e do BNDES.
- **Capital de Risco:** os *start-ups* de *design houses* poderão ser apoiados através do aporte ao capital de risco do BNDESPAR e Finep/Inovar.
- **Concessão de bolsas para projetistas de CIs:** para concretizar a criação de *design houses* no país, serão previstas a concessão de bolsas aos profissionais brasileiros por elas contratados, a exemplo do Programa RHAE. Este instrumento já existe no Brasil e deu origem ao Edital RHAE/Inovação do ano de 2002, financiado com recursos do Fundo Setorial de Apoio à Universidade Empresa (o Fundo Verde-Amarelo). As bolsas cobrirão o equivalente ao salário líquido do profissional de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8

Ano de operação	Subsídio
Ano 1	100%
Ano 2	100%
Ano 3	50%

- **Recursos incentivados pela Lei de Informática:** aplicação direta das empresas para criação ou apoio à criação de novas empresas de base tecnológica e para a aquisição de estações de trabalho e ferramentas de projeto;
- **Isenções do Imposto de Importação:** Isenção de Imposto de Importação para *hardware* non-PC (workstations Unix de alto desempenho), equipamento de teste eletrônico e software de EDA (*electronic design automation*).
- **Financiamento à venda de serviços no mercado interno:** criação de linhas de financiamento atrativas para estimular a compra de projetos de CIs desenvolvidos no Brasil.

➤ Ação IV – Acesso ao Mercado

O suporte ao acesso aos mercados nacional e internacional, pelas *design houses* nacionais, deverá ser uma das prioridades do Programa Nacional de Microeletrônica, tendo em vista as barreiras a entrada em um mercado com relações de negócios bem estabelecidas. A ação de acesso ao mercado contempla os seguintes objetivos:

- Aumentar a credibilidade das *design houses* brasileiras junto ao setor produtivo no Brasil.
- Formar e divulgar marcas nacionais.
- Inserir as *design houses* nacionais no segmento mundial de projeto de circuitos integrados.
- Ampliar o horizonte de mercado para as empresas nacionais, para que não dependam apenas de um mercado interno sujeito a sazonalidade.

- Elevar o padrão de projetos das empresas nacionais, para que possam competir em igualdade com empresas de todo o mundo.

O acesso ao mercado será realizado pelas seguintes vias:

- **Brokers Internacionais:** Entidades ou pessoas que atuam no mercado internacional de microeletrônica e que participem de redes e tenham contatos para divulgação e representação das empresas sediadas no Brasil. Esta atividade de *broker* pode ser desenvolvida por uma organização que atua especificamente na área ou por uma *design house* em operação no exterior.
- **Design houses:** A rede mundial de vendas das *design houses* atraídas poderá atuar como representante para venda, terceirização de projetos complementares que não estejam em seu *core business*, desenvolvimento de projetos internacionais cooperativos ou inserção de projetos e produtos de *design houses* brasileiras em sua rede de vendas mundial.
- **Participação em congressos e seminários internacionais:** Apoio para as *design houses* brasileiras participarem em eventos comerciais internacionais do setor de microeletrônica, adquirindo conhecimento, divulgando seus produtos e estendendo sua rede de contatos.
- **Apoio à realização de intercâmbios:** Incentivo para que profissionais de *design houses* brasileiras participem em projetos com empresas parceiras no exterior.

➤ **Ação V – Infra-estrutura de Rede**

A infra-estrutura de rede necessária para a viabilização do Programa Nacional de Microeletrônica deve atender às necessidades das instituições acadêmicas participantes do programa e das *design houses* atraídas e criadas no país. Estas necessidades podem ser divididas em duas categorias, segundo o prazo de utilização. A curto prazo, as instituições acadêmicas e as *design houses* utilizarão a rede principalmente para troca de arquivos, que podem chegar a 500MB em determinadas fases do projeto do CI. A troca de arquivos desta dimensão, entretanto, é esporádica, sendo mais comum a troca de arquivos de tamanho suportado pela rede brasileira atual. A longo prazo, a tecnologia de projeto virtual colaborativa poderá ser utilizada por projetistas da academia e das *design houses* para realização, em parceria, de projetos colaborativos em tempo real.

A infra-estrutura relacionada às instituições acadêmicas é baseada no backbone RNP2, que foi projetado para atender a requisitos técnicos de operações avançadas e que está em fase final de implantação em todo o país. Com a finalização da implantação da RNP2, estas instituições estarão atendidas em suas necessidades de rede para operação no âmbito do Programa Nacional Microeletrônica.

7. Subprograma de Fabricação de Circuitos Integrados (Foundries)

O principal objetivo de longo prazo das ações propostas no PNM no segmento de processos é buscar a capacitação industrial e tecnológica na área de microfabricação de silício. As perspectivas de evolução tecnológica da indústria permitem antever que a microfabricação de silício é uma tecnologia habilitadora ou capacitadora para inúmeros segmentos de potencial futuro, e portanto é estratégico não abdicar da capacidade de desenvolver no Brasil um nível crescente de competência nesta área e em tecnologias a ela relacionadas. As técnicas de microfabricação originalmente desenvolvidas para chips eletrônicos são utilizadas para um conjunto cada vez maior de produtos inovadores em segmentos não-eletrônicos, como micro-máquinas, microestruturas mecânicas, micro-reatores químicos, mostradores, microposicionadores, displays, biomateriais, etc.

Segundo o diagnóstico da primeira parte deste documento, as técnicas de fabricação de semicondutores são potencializadoras da inovação tecnológica em diversos segmentos, inclusive para possibilitar a emergência de inovações disruptivas em inúmeros outros segmentos que não apenas os de eletrônica. As técnicas e ambientes de processo (salas limpas) são especializados e caros. E seu domínio é pré-condição para explorar muitos dos novos produtos e fronteiras das nanotecnologias do futuro.

7.1 Ações Propostas

➤ Ação I – Implantação de Foundry Nível 1 : Prototipagem e Baixo volume.

O Subprograma de Foundries deve inicialmente estabelecer objetivos específicos realistas, consentâneos com as barreiras significativas já identificadas para a reinserção do Brasil na fase de difusão industrial de chips.

A menor escala de investimento em processamento físico-químico de silício no Brasil, tipificada como uma *foundry* de nível 1, poderá cumprir os quatro objetivos abaixo enumerados:

- i) produção em baixo volume de circuitos integrados (milhares a dezenas de milhares de cada CI por ano);
- ii) prototipagem de sistemas com tecnologia CMOS;
- iii) domínio e desenvolvimento das técnicas mais importantes de microfabricação em silício; e
- iv) formação de recursos humanos com o objetivo de prover vantagens comparativas para a atração no futuro de fábricas mais completas de CIs e de back-end no Brasil.

No diagnóstico do PNM (Parte I deste documento) foram apresentadas as tendências e tipificada a missão que cabe a uma foundry deste nível. A oportunidade para o Brasil neste patamar decorre de iniciativas como o Centro de Tecnologia Eletrônica Avançada – CEITEC, que estão em andamento em parceria com a empresa Motorola Inc. A gestão de um empreendimento de foundry nível 1 no Brasil demanda um arranjo institucional e uma adequada articulação com outros agentes empresariais e acadêmicos. A gestão desta iniciativa, a ser financiada com recursos públicos e envolvimento das empresas que demandam tecnologia, deve garantir o cumprimento

de metas e o trabalho em rede dos centros de competência brasileiros em tecnologias relacionadas ao silício.

Uma foundry de nível 1 atenderá ao imperativo de prover prototipagem de chips utilizando as técnicas de microfabricação em silício, com foco em tecnologias CMOS de fabricação. No contexto atual, prototipagem refere-se a encomendas de lotes de engenharia de chips, até 100 peças/lote, e o baixo volume atende encomendas de produção de poucas centenas, poucos milhares a até 30.000 chips por ano.

Neste Subprograma fica patente que a foundry de nível 1 deveria, para justificar o risco do investimento, atender simultaneamente a três finalidades:

- Prover protipagem e produção em baixo volume de chips CMOS em tecnologia digital;
- Desenvolver módulos adicionais de processo e etapas de fabricação diferenciadas para atender a um espectro específico para nichos (circuitos analógicos, circuitos digitais de ultra-baixa dissipação, dispositivos de maior tensão para acionadores inteligentes, etc). Para este fim, uma foundry deste nível deve ter capacitação e recursos para realizar P&D continuamente;
- Prover contínua formação de especialistas em processos de microfabricação em silício, visando o atendimento dos mercados inovadores e também como base para apoio à atração de foundries de maior nível de capacidade de produção (fábricas – foundries - s níveis 2 e 3, na terminologia adotada).

➤ **Ação II – Atração de fundição de silício comercial com produção em larga escala**

Diferentemente da ação anterior, em que o foco é a reinserção brasileira na tecnologia de microfabricação e fabricação em pequena escala, é necessário dar curso a uma ação política de maior escopo e com a participação direta de capitais privados no setor. A última iniciativa no país deu-se ao final dos anos 70, com o investimento e a tecnologia da empresa RCA. Esta fábrica foi posteriormente vendida à Philco americana e, depois, ao grupo brasileiro Sharp em 1984. As matrizes das empresas estrangeiras haviam se retirado do negócio de foundry no início dos anos oitenta, e a empresa SID do grupo Sharp encerrou suas atividades 15 anos depois, sem haver implantado o processo CMOS na sua linha de produção de chips. O processo de fabricação não evoluiu, restringiu-se a circuitos bipolares, e naturalmente ficou inviabilizado o negócio pela obsolescência desta tecnologia.

Dado o cenário de evolução rápida e de inovação acelerada nos processos de fabricação de semicondutores, a supremacia do processo CMOS para a eletrônica digital e o amplo espectro de produtos que utilizarão microsistemas fabricados em silício, é preciso analisar as perspectivas destas ações segundo o grau de inovação tecnológica e do risco tecnológico associados aos processos utilizados nestas fábricas, sinteticamente denominadas de foundry nível 2 e nível 3.

A) Foundry nível 2: Fabricação em volume com tecnologias litográficas no “trailing edge”.

O objetivo de ações nesse nível é o estabelecimento de mecanismos de atração para a instalação de facilidade industrial com capacidade de difusão em volume de ASICs ou de circuitos integrados que tenham demanda expressiva em segmentos industriais internacionais. Esta demanda expressiva pode ser atendida com foundries do nível 2, que estão distanciadas do estado da arte, no que diz respeito aos processos litográficos.

Recomenda-se uma ação específica para estudar os fatores locais mais favoráveis ao Brasil que permitiriam a atração de plantas para o país. Trata-se,

portanto, de avaliação complexa, por estarem essas foundries posicionadas num segmento que não atualiza o processo litográfico de forma agressiva, utilizando tecnologia e bens de capital mais maduros, com custos de P&D já amortizados, e sendo que estas fábricas do nível 2 estão bastante vinculadas às estratégias empresariais dos seus principais clientes. Pode-se antecipar que a sobrevivência destas foundries no mercado depende do domínio em nichos específicos, com produtos que não sejam deslocados pelas foundries e ASICs mais próximos do estado-da-arte, que venham a integrar em novos CIs as funções desempenhadas pelos chips fabricados no processo da foundry nível 2. Os sistemas e chips já projetados em tecnologias atualmente consideradas “trailing” podem sobreviver no mercado desde que a janela de reprojeto não tenha sido explorada – i.e., a migração tecnológica para mega-foundries no estado da arte não tenha sido concluída ou não seja tecnicamente possível. Há segmentos como os circuitos de potência operando a tensões acima de 5 V, os segmentos de componentes HV (alta tensão) até 80V, os sistemas analógicos, os dispositivos em silício amorfo para mostradores tipo LCDs ativos, os sistemas micro-eleto-mecânicos, dentre outros, em que o processo de fabricação é especializado e não há ganho significativo ou mesmo é impossível utilizar litografia sub 0.5µm .

Pelo exposto, a atração de uma foundry nível 2 parece mais factível do que o de nível 3, devido a diversidade de empresas que atuam nos vários segmentos que compõem o setor, além da diversidade de componentes que o complexo eletrônico demanda.

Recomendações específicas para a ação de atração de foundries nível 2 incluem:

- 1) Recomenda-se a realização de estudos detalhados sobre as oportunidades de atração de uma foundry de nível 2, identificando os segmentos de maior oportunidade e rentabilidade para a oferta de chips no mercado internacional, atendendo complementarmente o mercado nacional.

O modelo de negócios para viabilizar a atração de empreendimento no nível 2 parece indicar como alvo empresas atuando internacionalmente na fabricação de componentes, para os nichos nos quais o consumo no Brasil tem certa expressão. Embasa esta estratégia a perspectiva de que a demanda local por alguns tipos/famílias de componentes, pelas fabricantes de bens e montadoras eletrônicas sob contrato - CEMs, seja estimulante para a localização do empreendimento no Brasil. Por exemplo, componentes para celulares produzidos localmente, componentes discretos optoeletrônicos, componentes tipo SAW (surface acoustic waves), discretos de potência, etc.

- 2) Recomenda-se a realização de estudos técnico-econômicos específicos, com o objetivo de identificar demandas mobilizadas pelo poder de compra e/ou poder regulatório do Estado. Especificamente, recomenda-se levantamento da demanda para chips com aplicações resultantes de especificações brasileiras ou adaptadas às especificidades do Brasil, como por exemplo:

- sistemas de rastreabilidade eletrônica de produtos agropastoris;
- sistemas de serviços públicos de apoio ao cidadão – como cartão-cidadão, cartão-SUS-saúde, cartão-transporte (substituindo o vale-transporte em papel) e outros;
- novos serviços de TIC, como acesso comunitário à Internet através de hardware de baixo custo, hardware para máquinas de votação, etc.;

- novo serviço de broadcasting público, como a televisão digital;
- *smart cards* customizados para clientes brasileiros como cooperativas, pontos de varejo, etc.

B) Foundry nível 3: Fabricação em volume com tecnologias no estado-da-arte.

Em uma escala de investimentos ainda maior, a possibilidade de atração de mega-fábrica no estado da arte, segundo a definição do Roadmap ITRS, requer um conjunto de instrumentos eficazes e alianças estratégicas feitas sob medida para uma empresa líder no aspecto de inovação em processo.

As foundries deste nível podem ser especializadas em ASICs/SoC's, segmento que tende a ser ocupado por um número restrito de empresas, que vieram a concentrar-se no sudeste asiático, conforme o diagnóstico anteriormente citado. Os outros dois segmentos estudados (DRAMs e processadores) têm um número menor de empresas líderes ("players" chave), e uma excessiva especialização do processo fabril. As fábricas de DRAM têm maior risco e requerem uma janela estreita de entrada em um mercado onde a diferenciação dos produtos é bem menor do que nos segmentos de ASICs/SoC's.

As ações e instrumentos de política para a atração deste investimento no nível 3 requerem o envolvimento técnico-político de mais alto nível, além de instrumentos de política industrial montados na forma de um pacote detalhado, estudado caso a caso. A extensão dos incentivos a serem oferecidos deve ser compatível com os benefícios diretos e indiretos efetivos do projeto.

➤ Ação III – Formação de Recursos Humanos em Microeletrônica – Processos, Dispositivos e Materiais para Tecnologia de Fabricação

Objetivos:

Os objetivos específicos desta ação visam dar exequibilidade às ações anteriores, haja vista a importância reconhecida da disponibilidade de recursos humanos capacitados nas tecnologias-chave de microfabricação em silício. Deve-se buscar nesta ação:

- Direcionar instrumentos de formação de recursos humanos para incrementar o número de profissionais especialistas em processos de fabricação, dispositivos e materiais, incluindo as metodologias de integração de processo de fabricação CMOS.
- Apoiar a formação de novos especialistas nos níveis de graduação, mestrado e doutorado em Microeletrônica, considerando as fases do processo de produção (difusão e encapsulamento de componentes).
- Direcionar apoio específico para os grupos de pesquisa que sejam ativos em projeto de circuitos integrados, em processamento físico-químico de silício e em técnicas de empacotamento eletrônico.

Justificativas para o investimento de Formação de Recursos Humanos em Microeletrônica:

A amplitude das aplicações da eletrônica nas diversas atividades humanas, que sempre envolvem o uso de 'chips', permite prever que um número crescente de segmentos econômicos serão impactados pela convergência de sistemas diversos com as tecnologias de informação e comunicação. Produtos novos, de forma geral, apresentam uma necessária inovação: a incorporação de algum nível de automação e/ou inteligência – o que requer sempre a incorporação de chips ao projeto do sistema. Portanto, não enfatizar a visão estratégica da formação de RH em microeletrônica e ainda abdicar da presença de um segmento fabril de produção de sistemas eletrônicos

representaria para o país uma decisão equivocada do ponto de vista da política industrial no longo prazo – tanto na dimensão econômica, por abdicar de uma atividade de relevância crescente, quanto na dimensão estratégica.

O Anexo 2 do Programa Nacional de Microeletrônica faz um levantamento específico sobre as competências locais na formação de RH. Outros macro-indicadores da importância da formação de recursos humanos em Microeletrônica:

- maior valor agregado aos componentes leva as empresas à visão estratégica de concentrar os departamentos de P&D mais próximos das estratégias de negócio, procurando desenvolver tecnologias e novos produtos e deter a propriedade intelectual do projeto. Estas empresas descentralizam a produção dos produtos finais já dominados, fazem a terceirização da mesma, cobrando o prêmio pela propriedade intelectual e pelo valor agregado embutido no componente.
- Existe uma estreita correlação entre a capacidade de fazer engenharia de produto eletrônico localmente e a demanda verificada por projetistas de sistemas integrados num único chip. A razão é que a tendência à automação e miniaturização é uma decisão do projetista do bem final. Portanto a engenharia de projeto deste bem toma decisões centrais sobre qual tipo de sistema eletrônico será integrado sobre uma única ou mais pastilhas semicondutoras, e qual tecnologia de fabricação será utilizada na fabricação destas.

Ações Necessárias:

- 1) Definir linhas temáticas, alvos de desenvolvimento associados à microfabricação e a potenciais atividades industriais no curto, médio e longo prazos, para priorizar o apoio aos formadores de pessoal e aos grupos com temas de P&D específicos e com relevância para o processo CMOS.
- 2) Implementar Chamada de apoio à infra-estrutura para equipar os laboratórios universitários.

Mecanismos Institucionais de Mobilização:

O grupo de coordenação para este Subprograma deve articular os instrumentos e os mecanismos de apoio das agências nacionais (CNPq, CAPES, FINEP), de modo a apoiar um programa de formação de RH.

Programa de Bolsas de Fomento Tecnológico (CNPq) e de Bolsas de Formação (CNPq e CAPES):

- Prever e alocar verba para bolsas de fomento tecnológico, de acordo com a demanda dos grupos com projetos específicos relacionados às duas ações anteriormente explicitadas (apoio a dois centros-âncora – CEITEC no RS e CCS em SP) e a atração de empresas de difusão do exterior.
- Alocar quota de bolsas de formação por grupo de docentes, prevendo bolsas de IC (iniciação científica), mestrado, doutorado e pós-doutorado.
- Atração de professores visitantes e especialistas profissionais do exterior, incluindo apoio aos docentes e engenheiros de outras instituições nacionais, para iniciação e formação em processos, materiais e dispositivos para microeletrônica.
- Quota de bolsas de fomento tecnológico.

Apoio aos grupos de P&D acadêmicos e formadores de RH pós-graduados:

- Para implementar a ação de instalação de uma foundry nível 1 faz-se necessário coordenar a recomposição da infra-estrutura dos laboratórios

universitários simultaneamente com a instalação dos 2 centros-âncora. Para tanto, devem ser aportados recursos para apoio à P&D em técnicas de microfabricação, apoio às inovações em etapas de processos físico-químicos, apoio aos grupos de caracterização de materiais, entre outros.

- apoio mais significativo deve ser propiciado aos grupos de pesquisa envolvidos na evolução da tecnologia CMOS e no desenvolvimento de etapas de processo que tenham potencial de serem incorporados no futuro à foundry nível 1 ou aos processos dos empreendimentos a serem atraídos ao Brasil. Esta evolução requer coordenação, sistematização e acompanhamento de projetos colaborativos entre os dois Centros-âncora e os grupos universitários com competência em P&D.

Revisão/adaptação de currículos e cursos de formação universitária complementar

- A revisão de grades curriculares nos cursos de graduação de qualidade reconhecida, e com docentes pesquisadores em microeletrônica, permite inovar no ensino de graduação nas seguintes carreiras:
 - ❑ Engenharia de materiais e metalúrgica.
 - ❑ Engenharia elétrica.
 - ❑ Engenharia da computação, engenharia de automação e mecatrônica.
 - ❑ Bacharelado em informática.
 - ❑ Bacharelados em física, ciência dos materiais e química.
- A proposição e oferecimento de cursos de formação universitária complementar em Microeletrônica, abertos aos alunos das carreiras acima, provenientes de qualquer instituição deverão ser estimulados. A exemplo do edital CAPES para cursos de doutorado em Microeletrônica, deve-se implementar uma chamada de cursos de microeletrônica com formação básica em processos, dispositivos, projeto de CIs, e teste. Esta chamada deve prever:
 - ❑ Descrição de um plano de atividades de ensino coerente e integrado (exemplo: uma seqüência de disciplinas de pós-graduação, cursos específicos de extensão).
 - ❑ Temas para trabalhos de bolsistas de iniciação científica e mestrado.

7.2 Oportunidades

Como já observado, para as foundries dos níveis 1 e 2 há um espectro maior de possíveis nichos de mercado que não requerem tecnologias litográficas de fabricação no estado da arte. Ademais, para produção de ASICs em baixo volume em foundry de nível 3 existe uma barreira de entrada substancial (em custo de máscaras e custo de contratação inicial – custos tipo NRE).

A emergência de novos produtos e nichos que requerem inovação conceitual e de engenharia, associadas à microfabricação de estruturas em silício, permite a recuperação dos investimentos e dos custos operacionais destas facilidades de prototipagem no Brasil. Os possíveis nichos são os sensores integrados, os atuadores micro-eleto-mecânicos, dispositivos MEMs diversos, os circuitos integrados com integração lógica/dispositivos de potência, e a integração de CIs com dissipação ultra-baixa para dispositivos eletrônicos portáteis inovadores. A identificação de nichos a partir do perfil da demanda futura é parte de um estudo de mercado em andamento apoiado pela FINEP para o projeto CEITEC no ano de 2002. Os produtos semicondutores de maior potencial de crescimento são aqueles que permitirão a melhor janela para a inovação em aplicações ainda a explorar. Portanto, as

oportunidades de prototipagem mais promissoras igualmente estarão associadas a estes segmentos em crescimento e expansão para novos nichos.

7.2.1 Oportunidades para inovação com técnicas de microfabricação

Usualmente se associa a capacidade de prototipagem das fundições de silício somente aos chips desenvolvidos para a tecnologia CMOS digital. As técnicas básicas da microfabricação em silício são:

- Fotogração em resinas orgânicas, com técnicas sofisticadas de alinhamento.
- Crescimento de isolante óxido de silício.
- Deposição de filmes finos (metálicos, isolantes e semicondutores).
- Decapagem físico-química destes filmes, a seco e úmida, com altíssimo grau de definição dimensional.
- Decapagem do substrato de silício.
- Implantação de íons.
- Difusão e epitaxia em estado sólido.

É importante reconhecer que todas estas técnicas contribuem para a integração de chips, porém - e isto as tornam tecnologias de maior espectro – têm pertinência e aplicabilidade na integração de outros sistemas. Em suma, a microeletrônica abrange um conjunto de técnicas e métodos não circunscritos aos sistemas eletrônicos pois se aplicam também a uma série de segmentos de produtos não convencionais, ainda hoje inexplorados no mercado, mas com grande potencial de desenvolvimento. Por exemplo, como área conexa à microeletrônica e intimamente dependente das mesmas técnicas de microfabricação dos chips, tem-se a área de microsistemas ou MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems). Microsistemas são a resposta à necessidade de redução de custos das partes não-eletrônicas dos sistemas, que não acompanharam a redução de custos das partes eletrônicas. A união das técnicas de microfabricação provenientes da microeletrônica (litografia, filmes finos, etc.) com as técnicas provenientes da engenharia mecânica (eletroformação, moldagem, gravação a laser, etc.) estão permitindo produzir dispositivos e sistemas miniaturizados para aplicações diversas. Os exemplos mais comuns incluem os sistemas “air bag” para veículos, biochip para análise de DNA, medidores de glicose para diabéticos, e as microfibras dos modernos tecidos sintéticos. O desenvolvimento de microsistemas apresenta uma importância crescente para os sistemas em geral, cobrindo várias áreas: ambiental, industrial, química, alimentos, agricultura, medicina, automobilística, telecomunicações e outras

As tecnologias básicas de microfabricação são essenciais para tornar viáveis a utilização em maior escala dos dispositivos do futuro, sejam eles os nanodispositivos ou mesmo os dispositivos em escala molecular que poderão utilizar materiais alternativos ao silício.

7.2.2 Oportunidades associadas à sinergia com o Subprograma de Design Houses.

A ação de instalação de uma foundry nível 1 apresenta uma interação sinérgica com o Subprograma de Design Houses. A atração de grupos de engenharia de produto e de grupos de projetistas de CIs para o Brasil representa uma oportunidade que será mais facilmente materializada se o Brasil dispôr de pelo menos uma foundry deste nível. Por seu turno, a customização do processo para um design inovador – nos nichos novos e de maior potencial e risco referidos anteriormente como dependentes do domínio das tecnologias de microfabricação – só é possível a partir

da interação dos projetistas de sistemas microfabricados com a equipe própria de engenharia do processo da foundry.

7.3 Dificuldades identificadas para o Subprograma Foundries

7.3.1 Limitações na cadeia produtiva

- A ausência de importantes elos da cadeia de semicondutores no Brasil não cria externalidades para que o Brasil possa concorrer por investimentos estrangeiros significativos ou mesmo potencializar os investimentos de grupos empresariais nacionais em fábricas de chips.
- Existe uma reduzida demanda por protótipos industriais de circuitos integrados CMOS sob medida pelas indústrias brasileiras e pelas empresas estrangeiras com operações no Brasil. Isto decorreu da limitada capacidade das atividades de engenharia de produto, praticamente extinta a partir da abertura do mercado.

7.3.2 Limitações sistêmicas

- Ausência de uma cadeia de fornecimento de insumos/serviços para as salas de alto grau de limpeza para a fabricação de chips no Brasil.
- Procedimentos alfandegários ágeis. As fabricantes de semicondutores requerem ágil procedimento de importação/exportação. Não são apenas razões comerciais que assim exigem, mas a característica de operação non-stop e a sensibilidade a distúrbios/contaminação química destas fábricas que requerem agilidade na importação de insumos e de peças.
- A limitada oferta de profissionais no Brasil com experiência industrial nos processos e equipamentos de microfabricação requer um consistente plano de formação de especialistas para ampliar a engenharia de processos no ambiente de produção.
- A operação da foundry requer padrões internacionais de qualidade e confiabilidade do produto prototipado e produzido na mesma, posto que a demanda por chips (protótipos ou em produção) é significativa no exterior. A criação de uma marca confiável é um desafio técnico-mercadológico difícil de suplantar, porém indispensável que seja incorporado às futuras práticas locais de produção.

7.4 Oportunidade para a atração de foundries do nível 2 e 3

Os estudos visando a atração de foundries para o Brasil estão em andamento e as medidas recomendadas merecerão análise de diferentes órgãos do governo, com a participação do BNDES e a coordenação do Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC). A articulação a ser estabelecida pelo MDIC requer a colaboração com o MCT, Ministério da Fazenda, Ministério do Planejamento e Ministério das Comunicações. Visando a participação do segmento empresarial brasileiro neste esforço, foi criado previamente no âmbito do MDIC o Fórum de Competitividade da Indústria Eletro-Eletrônica, para articular os principais agentes da política industrial e diagnosticar os instrumentos e ações setoriais que podem ser mobilizados para esta atração. A existência deste Fórum, do diagnóstico e das ações em andamento para a atração de investimento de uma foundry industrial é uma oportunidade significativa para o avanço desta ação. As diversas recomendações e estudos do BNDES e deste Fórum para a atração de foundries fizeram avançar o entendimento da complexidade e da necessidade de estímulo ao desenvolvimento desse setor no Brasil.

Pelo discutido anteriormente, recomenda-se que a planta a ser instalada no Brasil seja multipropósito, com tecnologia digital CMOS, atendendo a um espectro maior de produtos e clientes de bens finais. Uma planta de memórias DRAM nível 3 não atende a este aspecto, mas teria grande impacto na balança comercial, pela exportação de mais de 90% de sua produção. Por outro lado, uma foundry do nível 2 teria, por imperativo de sobrevivência, de atender a esta recomendação, i.e.: na mesma planta tanto a tecnologia CMOS digital padrão para fabricação de ASICs e SoCs digitais (com microcontroladores embutidos, por exemplo), quanto outros módulos de processamento especializados para outros produtos deveriam partilhar a mesma fábrica.

7.5 Mecanismos/Instrumentos para Atração de Fundições de silício de nível 2 e de nível 3

Os incentivos à internalização das atividades de fabricação de chips abrangem uma ampla gama de instrumentos e formas de atuação, como referenciados pelo Relatório do MDIC¹⁴ e BNDES. A sensibilização setorial e a prospecção da abrangência dos instrumentos já foram alcançados por estudos anteriores. Um destes¹⁵ realizou um estudo comparativo dos instrumentos utilizados por diversos países (Reino Unido, Alemanha, Coreia, Cingapura, Malásia e Filipinas) e mesmo governos estaduais (Oregon, EUA). Outro estudo do IEDI (Instituto de Estudos e Desenvolvimento Industrial), abrangendo toda a indústria eletrônica no Brasil, detalhou os instrumentos de incentivos utilizados pelos países emergentes.

As ações mínimas necessárias para uma política de atração de fabricantes de componentes semicondutores envolvem, na visão do Fórum Brasileiro de Competitividade do setor e de outros atores consultados:

- Agilidade nos procedimentos alfandegários e nas regras de importação e exportação.
- Medidas fiscais, tais como:
 - Redução do IRPJ, em especial quanto à exportação.
 - Restituição do IPI dos bens finais.
 - Redução das alíquotas ou isenção de Imposto de Importação sobre os insumos utilizados na produção de componentes.
 - Adoção de mecanismo de incentivo à aquisição local de componentes. Sugere-se, por exemplo, a concessão de crédito de IPI ao adquirente de componente fabricado no Brasil, simultaneamente à isenção ao fabricante local do chip.
 - Eliminação da incidência de PIS/COFINS na produção.
- Financiamento em condições equivalentes às praticadas no mercado internacional.
- Incentivos diversos para a instalação de unidades produtoras.
- Formação de recursos humanos qualificados através do apoio direto na formação e treinamento de pessoal para as *foundries*.

Sugere-se agregar, além das medidas acima, mecanismos específicos para abatimento de despesas realizadas diretamente em P&D, no caso das empresas de difusão. Do ponto de vista estratégico, para a instalação e permanência destas

¹⁴ Relatório do Grupo de Trabalho MDIC, MCT e BNDES. "Para uma Política de Atração de Investimentos na Fabricação de Componentes Semicondutores". Setembro, 2001 (mimeo).

¹⁵ Estudo dos Incentivos oferecidos por Governos para Atrair Investimentos na Fabricação de Semicondutores". Estudo do MCT/IDC.

atividades fabris, é importante que haja a possibilidade de taxa  o parcial dos lucros. Como medida de incentivo para a redução desta taxa  o, poder-se-ia prever o abatimento em dobro/triplo dos investimentos em P&D diretamente relacionados à tecnologia de fabricação de chips. Resultariam da   incentivos poderosos para a realização da atualização tecnológica – um imperativo para a sobrevivência destes empreendimentos.

Em relação aos instrumentos de política industrial, destaca-se a importância dos seguintes mecanismos:

PPB diferenciado: incentivo ao uso de componentes nacionais. Trata-se de regulamentar um incentivo aos montadores de placas/subsistemas que utilizem componentes fabricados ou encapsulados no Brasil. Este mecanismo requer dois cuidados essenciais: i) o processo produtivo básico incentivado poderia receber isenções e vantagens fiscais adicionais, incentivando desta maneira a implantação no país da cadeia a montante do processo de montagem final dos bens; ii) o incentivo em questão deve ser implantado de modo a não criar distorções que desincentivem as empresas que são montadoras de bens finais e que eventualmente não tenham condições técnicas ou de mercado para utilizar os componentes difundidos e/ou montados no país.

a) Incentivos Fiscais

• Diferimento/Isenção do IPI

Além da isenção do IPI proposta para os chips produzidos localmente, por isonomia ao PPB de placa - notoriamente este menos complexo do que a difusão dos chips semicondutores - propõe-se igualmente a isenção do IPI e do Imposto de Importação para os insumos do processo e para os bens de capital importados para a linha de fabricação. Uma ampla gama de insumos não produzidos no país (wafers, gases, cristais, vidraria, filtros de ar, reagentes químicos e dezenas de ítems de materiais e peças de equipamentos com alta pureza por exemplo) são consumidos continuamente na linha de produção. Não haveria, a curto prazo, justificativa econômica em produzir no país esses insumos e partes de reposição.

• Diferimento/Isenção do Imposto de Importação

Os  tems importados para a instalação e para insumo do processo de fabricação, como no parágrafo acima, igualmente seriam isentos de imposto de importação e do IPI.

• Incentivos fiscais no ICMS

A incidência de ICMS sobre a parcela de chips a serem fabricados e vendidos no mercado brasileiro deveria ser reavaliada pelo CONFAZ. H   uma gama ampla de incentivos fiscais estaduais a serem negociados, porém sua relevância dependerá do percentual da produção localmente consumida e do acerto entre os Estados que sedia a foundry e os Estados produtores dos bens finais. Sugere-se ao CONFAZ inicialmente a isenção de ICMS, como incentivo ao componente localmente fabricado. Sugere-se também o diferimento para pagamento com redução da base de cálculo.

• Crédito fiscal

- crédito fiscal de IPI para o comprador local de chip projetado ou difundido no país.
- isenção para wafer importado.
- isenção para insumos importados (seja para a difusão, seja para o backend).

• IR

- Créditos e Isenções de IRPJ são utilizados por todos os governos que foram analisados pelos estudos do BNDES e do MCT.
- Sugere-se a autorização para a depreciação acelerada (em dois anos) para bens de capital do processo de fabricação, para fins fiscais.

- **Impostos municipais/locais**

Os incentivos locais, em particular o imposto sobre a propriedade, podem ser negociados individualmente e têm pequeno impacto. A qualidade dos serviços públicos locais (telefonía, energia elétrica e seus padrões de baixa interruptibilidade, e suprimento de água) e suas tarifas são mais significativos como fatores de incentivo e de decisão de micro-localização.

b) Instrumentos Creditícios

- Financiamento de longo prazo do BNDES para o investimento em novas plantas. Em diversos países estudados, como a Alemanha, o crédito estatal para a instalação de uma foundry é subsidiado. No caso da operação fabril de back-end da Intel na Costa Rica, um investimento de US\$ 380 milhões no período 1997-2000, o instrumento creditício não foi utilizado, porém os incentivos fiscais e logísticos foram muito expressivos.
- FINAME Componentes (financiamento à comercialização)

c) Investimento Público Direto

Este mecanismo envolve a:

- a participação acionária temporária do BNDESPAR no empreendimento. Este mecanismo pode prever participação acionária na empresa estabelecida no país. Porém, a participação acionária na holding detentora da tecnologia e sócia-proprietária da fábrica no país pode ser também um mecanismo atrativo para diluição do risco, na medida em que o capital público investido em ações da holding – se especificamente atrelado à contrapartida do investimento na fundição no país – atrela-se à rentabilidade de longo prazo da empresa global de semicondutores, e não apenas à rentabilidade da planta a ser eventualmente instalada no Brasil.
- Realização de roadshow para os possíveis investidores.
- Apoio ao investimento através de iniciativas como o Invest Brasil.

d) Logística de Serviços Públicos

Os serviços públicos cuja qualidade são mais importantes para as empresas de difusão incluem:

- Serviços alfandegários. A introdução de agilidade no desembaraço para importação/exportação é considerado fator indispensável pelas empresas de semicondutores. Os mecanismos de “linha azul” e Recof operados pela Receita Federal devem ser aperfeiçoados e estendidos à cadeia de fornecedores das empresas de fabricação de componentes.
- Serviços e utilidades públicas diretamente consumidos no processo como energia elétrica com alto padrão de ininterruptão, telecomunicações e fornecimento de água. A planta de difusão de alta escala é consumidora significativa de energia elétrica e sua não-interruptão é essencial para a operação da sala limpa, núcleo do ambiente fabril onde circulam as lâminas (wafers) em processo. Um único lote tem turn-around de 4 ou

mais semanas, período no qual permanece em ambientes de classe/grau de limpeza significativa.

- Serviços e utilidades, públicos ou privados, providos aos indivíduos profissionais da fábrica (como educação superior de qualidade, segurança, lazer, meio-ambiente, etc.) são igualmente fatores locacionais relevantes, porém não determinantes.

e) Incentivos Locais

Agregam-se ainda um conjunto de possíveis incentivos de natureza local, relacionado a impostos e taxas municipais (ISS, imposto sobre propriedade/imóveis, etc.), doação de terrenos e serviços adicionais contratáveis pelo poder público local – como central de tratamento de água e de efluentes, por exemplo.

8. Subprograma de Encapsulamento e Teste (Back-End)

Justificativa

Devido à tendência à desverticalização da indústria de CIs, surgiram empresas independentes que atuam na etapa final da cadeia produtiva (encapsulamento e testes), atividade essa que usualmente era desenvolvida pela própria empresa produtora de chips. Essas novas unidades produtivas situam-se mais próximas dos clientes e apresentam um requisito de investimento bem menor que as foundries.

O surgimento de empresas independentes de backend é um fenômeno impulsionado tanto pela existência de foundries independentes quanto por empresas integradas que decidem não atuar em toda a cadeia produtiva, encomendando essa etapa para terceiros.

Em Taiwan existe um grande número de firmas independentes na área de encapsulamento (42 empresas) e teste (33 empresas). No Brasil, até o início da década de 1990, registrava-se a presença de produtores estrangeiros e nacionais, que, em sua ampla maioria, encerraram suas atividades diante da abertura comercial efetivada abruptamente a partir de março de 1990. Em curto lapso de tempo (cerca de um ano), encerraram suas atividades de montagem de componentes no Brasil as filiais das multinacionais Texas Instruments, Philips-Ibrape componentes, entre outras. A seguir, encerrou-se a operação de semicondutores (componentes discretos tipo tiristores) da subsidiária da Siemens-Icotron. Restou apenas uma unidade produtiva operada pela Itaucom, empresa sob controle nacional, que produz encapsulamento e teste de memórias DRAM para o mercado de microcomputadores. É importante ainda destacar as atividades de encapsulamento em baixa escala de produção realizadas pelo Instituto CENPRA do MCT (ex-CTI), instituição que detém uma importante capacitação tecnológica em microeletrônica.

Objetivos

A internalização desta etapa da cadeia produtiva tem como objetivo básico estimular o uso de componentes montados no país, além de acompanhar o progresso tecnológico no segmento.

Adiciona-se o propósito de complementar a produção nacional hoje atendida em ínfima escala por uma única planta produtiva, que no ano de 2001 produziu cerca de 69 milhões de dólares em módulos encapsulados de memórias DRAM.

Deve-se ainda ressaltar que a fase de backend também pode ser entendida como uma etapa preparatória para a atração para o país da fase mais complexa de difusão (operação de foundries). De fato, essas atividades propiciam uma excelente oportunidade não apenas para o treinamento e qualificação de mão de obra em microeletrônica, mas também para credenciar o país para a atração de foundries.

Oportunidades

As atividades de backend (encapsulamento e teste) estão mudando rapidamente, seja em função da demanda do mercado seja devido ao avanço da tecnologia de silício. Devido à tecnologia estar embutida nos equipamentos produtivos e a operação ser altamente automatizada, requerendo pouco manuseio, ou seja, não se exige alta qualificação de mão de obra, constata-se que não há uma barreira tecnológica substancial à entrada no segmento.

Deve ser ressaltado que o impacto relativo na balança comercial não é tão grande quanto aquele provocado pela instalação de foundries. No entanto, a ausência de atividades de backend é um dos ofensores da balança comercial brasileira e, por outro lado, sua implantação agrega valor à produção local. No diagnóstico realizado na Parte I deste documento foram elencados os segmentos que representam oportunidades para a realização do back-end no país.

➤ **AÇÃO I: Atração de Novas Fábricas**

Atualmente o país dispõe tão somente de uma única instalação industrial de empacotamento e testes. A atração de novas unidades produtivas propiciaria a constituição de sinergias positivas em direção à atração de foundries.

Entretanto, na medida em que existem operações diferenciadas de backend, segundos as diversas classes de semicondutores, é importante priorizar a atração de empresas especializadas em nichos específicos, tais como memórias flash e EEPROM.

Em particular deve-se incentivar as empresas de “contracted manufacturing” instaladas no Brasil a verticalizar suas operações no Brasil para realizar o back end de chips.

Mecanismos

Os incentivos à internalização das atividades de back end abrangem uma ampla gama de instrumentos e formas de atuação. Em relação aos instrumentos de política industrial, destaca-se a importância dos seguintes mecanismos:

Incentivos Fiscais

IPI/II

Crédito fiscal

- isenção para wafer importado.
- isenção para insumos importados (para backend e difusão).
- Concessão de crédito de IPI ao comprador local de componente, associado ainda à isenção de IPI à empresa que fabrica a etapa back-end.

IR

- depreciação acelerada (3 anos) para bens de capital do processo de montagem e teste.

Verifica-se que o instrumento fiscal, associado a facilidades alfandegárias ágeis, foi essencial para a instalação na Costa Rica de uma operação fabril de back-end da Intel. Esta representou um investimento de US\$ 380 milhões no período 1997-2000. Neste caso específico, o país propiciou : isenção permanente de I.I., isenção de IRPJ por 08 anos – e 50% para os anos subsequentes, isenção de IR na remessa de lucros, isenção de impostos de importação, impostos sobre vendas locais, e impostos municipais e impostos sobre ganhos de capital.

ICMS

- Sugere-se ao CONFAZ a unificação da alíquota do ICMS para 7%, desde que a empresa possua PPB aprovado.
- Diferimento para pagamento com redução da base de cálculo.

Créditos

- Financiamento a longo prazo do BNDES para o investimento em novas plantas.
- Participação acionária temporária do BNDESPAR.

Regime Alfandegário Simplificado

Roadshow (mostrar estudos de viabilidade)

Apoio ao Investimento (Invest Brasil)

➤ Ação II: Estímulo à Demanda por Componentes Fabricados no País

As atividades de empacotamento e testes de circuitos integrados situam-se na ponta final da cadeia produtiva e sua internalização no país agrega valor à produção local. No entanto, além de um objetivo em si próprio, o apoio às atividades de backend, também pode conter instrumentos para incentivar o uso de componentes fabricados no país, aumentando o valor agregado produzido localmente.

Nesse sentido, observa-se que mudanças seletivas (por tipo de equipamentos do complexo eletrônico e escalonadas ao longo tempo) do processo produtivo básico (PPB) podem favorecer a compra de componentes locais (definidos como aqueles que, no seu projeto, difusão ou encapsulamento, tenham obtido agregação local de valor), minimizando a importação de kits (placas) para simples montagem de produtos no país. Este incentivo, uma vez introduzido, não poderia por outro lado desincentivar a indústria de produção de bens finais a executar o PPB. A razão é que o incentivo à produção de componentes locais não pode se dar às expensas do encarecimento dos demais bens do complexo eletrônico que – por razões técnicas ou de mercado – não vierem a incorporar aqueles componentes locais.

Mecanismos

- Alterar o PPB de modo a conter incentivos ao uso de componentes produzidos localmente. Este mecanismo requer dois cuidados essenciais: i) o processo produtivo básico incentivado poderia receber isenções e vantagens fiscais adicionais, incentivando desta maneira a implantação no país da cadeia a montante do processo de montagem final dos bens; ii) o incentivo em questão deve ser implantado de modo a não criar distorções que desincentivem as empresas que são montadoras de bens finais e não têm condições técnicas ou de mercado para utilizar os componentes difundidos e/ou montados no país.
- FINAME Componentes (financiamento à comercialização).

Recursos Humanos

Não obstante os recursos humanos não constituírem restrições para a etapa de backend, a eventual demanda de especialistas pode ser suprida por graduados e pós graduados formados nos cursos de processo (difusão), bem como engenheiros de produção e engenheiros elétricos. Como se sabe, os cursos relacionados a processos e dispositivos microeletrônicos formam mão de obra altamente qualificada

As tecnologias mais avançadas de encapsulamento como CSP (empacotamento em chip-scale) e MCM (módulos multi-chip) são evolucionárias e poderão ser internalizadas por empresas sem dificuldades expressivas no que diz respeito aos recursos humanos.

Arranjo Institucional

Deve ser formada uma Coordenação do Subprograma de Encapsulamento e Testes e também um respectivo Comitê de Acompanhamento. Este último seria formado por representantes do setor público e privado, incentivando particularmente a participação de empresas potencialmente interessadas no segmento (empresas CEM,

Itaucom, grandes grupos). Um exemplo a ser lembrado é o antigo GT para instalação de cinescópios no país.

➤ **Ação III: Implementação de infra-estrutura de certificação, qualificação e análise de componentes e sistemas eletrônicos**

Esta ação, a ser concertada com o Programa de Tecnologia Industrial Básica (TIB) no Brasil, é recomendada no âmbito do PNM pela importância que a certificação e a qualificação têm para o complexo eletrônico. Os componentes eletrônicos são o centro da qualidade e confiabilidade de produtos, e a montagem final destes têm mais afinidade técnica com a tecnologia de encapsulamento dos componentes; portanto, esta ação de TIB guarda relação importante com o setor de back-end. Esta ação é essencial para conformar e assegurar o processo de inovação e melhoria dos produtos e processos da indústria de eletrônica, de telecomunicações e de componentes microeletrônicos.

A evolução tecnológica dos agentes industriais de componentes microeletrônicos e da indústria que os utiliza, depende de uma constante realimentação de informações sobre o desempenho verificado no campo, da detecção de falhas, sua análise e suas relações com os processos de concepção e fabricação. A capacidade de conceber e fabricar sistemas para aplicações das tecnologias da informação não pode prescindir de uma base normativa, metodológica e de ferramental laboratorial compatíveis com a evolução da complexidade, dos limites de resolução e da velocidade associada aos componentes microeletrônicos e módulos associados.

O país possui várias instituições governamentais e privadas que se dedicam ao desenvolvimento dessas técnicas e dispõem de laboratórios conceituados junto às empresas, para as quais historicamente prestam serviços. Recomenda-se a condução de negociações para uma ação conjunta pelo CenPRA, INPE, IPT, ITA, CTA, INMETRO e UCIEE no sentido de realizar a estruturação de uma Rede de Qualificação e Certificação de Componentes e Sistemas para o complexo eletrônico, a qual não só é viável no curto prazo, em virtude da experiência acumulada por essas instituições, como poderá, com investimentos moderados, equiparar-se ao estado da arte internacional viabilizando o acompanhamento e, eventualmente, a superação dos processos competitivos internacionais e de barreiras comerciais relativas à qualidade dos produtos para exportação.

Vale ressaltar a importância desses centros para as empresas de base tecnológica, as quais poderão utilizar os laboratórios e serviços para a melhoria de seus produtos e processos. Centros de concepção de sistemas microeletrônicos serão também beneficiados por essa infra-estrutura, pois terão condições de proceder não somente aos testes funcionais dos novos produtos, como à análise de falhas e correção de erros de projeto.

A evolução do conteúdo produzido pela Rede através do desenvolvimento de métodos, processos e normas poderá contribuir também para a abordagem das questões relativas às barreiras não-alfandegárias seja como forma de atingir outros mercados, seja como forma de proteção aos produtos da indústria local.

9. Impactos no Balanço de Pagamentos

O problema do balanço de pagamentos no setor de microeletrônica não encontra soluções de curto prazo. As ações apresentadas representam uma etapa que deve ser cumprida para que o déficit seja reduzido a longo prazo. Uma estimativa preliminar dos impactos dos projetos é desenvolvida a seguir para as diferentes ações.

9.1 Subprograma de Design Houses

As atividades de design houses internacionais são caracterizadas por contratos de prestação de serviços técnicos entre a matriz e a subsidiária no Brasil. A propriedade intelectual geralmente é registrada pela matriz, não gerando apropriação local de ativos tecnológicos. Neste caso ocorre apenas a remuneração de fatores de produção locais (salários, alugueis, uso de equipamentos e serviços de apoio) que configurariam uma exportação de serviços. O orçamento atribuído a unidade local de projeto poderia servir como base para avaliação. Estimamos, com base no quadro abaixo, que cada projetista contratado no Brasil geraria cerca de US\$ 95 mil por ano em divisas.

Estimativa de receita em divisas por projetista (US\$)

Item de custos	Anual
Salário médio de projetista	24.000
Encargos sociais	21.600
Outras despesas: aluguéis; depreciação de equipamentos e software; serviços de apoio; despesas indiretas, etc.	50.000
TOTAL	95.600

A título de exemplo, a Motorola empregava em junho de 2002 aproximadamente 100 técnicos em design de circuitos integrados no Brasil. Pela nossa estimativa, tais atividades representam um ingresso de divisas próximo a US\$ 10 milhões anuais.

No caso de uma design house independente, a apropriação tecnológica pode ser feita tanto no país, mediante o registro da propriedade intelectual, ou no exterior, quando a empresa é subcontratada por uma empresa estrangeira. No primeiro caso, a geração de divisas dependeria das receitas de licenciamento de propriedade intelectual no exterior. No segundo, podemos estimar que 80% do faturamento de uma design house independente seria obtido em moeda estrangeira. Tal estimativa baseia-se no fato de que o principal mercado estaria no exterior.

9.2 Subprograma de Foundries

A atração de foundries de larga escala constitui uma estratégia fundamental para a redução do déficit no balanço de pagamentos do setor eletrônico. Em geral, as fundições de silício são orientadas para o mercado global, e as dimensões do mercado local não constituem necessariamente um condicionante ao investimento. Entretanto, a atração de foundries é um objeto atingível somente a longo prazo, conforme argumentamos na seção 5.

Já no caso das foundries nível 1, o impacto potencial direto no balanço de pagamentos não deverá ser significativo. Por um lado, poderá ocorrer pequenas substituições de importações na produção de pequenos lotes. Também poderão ocorrer venda de serviços de prototipagem ao exterior. Tais receitas eventuais de exportações, entretanto, seriam uma compensação para as importações de software,

insumos e equipamentos necessárias para a operação da unidade prevista no plano de ações.

9.3 Subprograma de Encapsulamento e Testes

Este segmento é o que poderia gerar um maior volume de divisas a curto prazo, seja pela substituição das importações quanto pelas exportações. O valor adicionado das atividades de back end de circuitos integrados é estimado em 30% do valor líquido de venda. Assim, podemos estimar que o aumento das vendas de produtos encapsulados no país poderia gerar divisas nesta proporção.

A título de exemplo, a única empresa com atividades de encapsulamento no Brasil (Itaucom) faturou em 2000 cerca de US\$ 69 milhões com a venda de memórias. As exportações são eventuais pois dependem dependendo da conjuntura internacional. Mesmo sem realizar exportações, tais atividades representam uma economia de divisas de cerca de US\$ 20 milhões por ano. A economia de um volume maior de divisas seria possível a curto prazo, caso a empresa ocupasse a capacidade ociosa existente. Cabe lembrar que estes valores são meras indicações pois o preço médio de venda de memórias, consideradas commodities, oscila muito.

Na medida que novos investimentos em capacidade industrial de encapsulamento e testes forem realizados, haverá potencial tanto para substituição de importações quanto para exportações. O mercado brasileiro de CI automotivo, por exemplo, é de 400 mil/mês, mas apenas 100 mil são adquiridos no mercado local. As exportações poderiam ocorrer tanto de forma direta quanto indireta, através de chips incorporados em automóveis, computadores e outros equipamentos exportados pela indústria de bens finais.

10. Gestão do Programa Nacional de Microeletrônica

O Programa deverá ter um Comitê Gestor responsável pela elaboração das diretrizes detalhadas do Programa Nacional de Microeletrônica, credenciando, acompanhando e avaliando as instituições participantes. Este Comitê Gestor deve ser dotado de uma clara vinculação institucional responsável por sua operacionalização e sua secretaria técnica. O Comitê deverá ser composto de representantes do MCT, FINEP, BNDES e MDIC, além de representantes dos setores acadêmico e empresarial.

Para o sucesso do Programa Nacional de Microeletrônica é necessária a implantação de um sistema de gestão que defina diretrizes e credencie, selecione, acompanhe e avalie as instituições participantes, executando as seguintes funções principais:

- Estabelecimento de diretrizes para o setor.
- Definição do processo de alocação e acompanhamento dos projetos.
- Definição de políticas de médio e longo prazo para o estabelecimento de metas e indicadores de avaliação para o setor.
- Estabelecimento de parcerias com a academia e centros de pesquisa no Brasil e no exterior.

Os principais objetivos que o Comitê Gestor deve perseguir são:

- Estímulo à integração e complementaridade dos projetos vinculados ao Programa.
- Estímulo a que a propriedade intelectual dos projetos desenvolvidos pelas design houses atraídas e beneficiadas pelo PNM seja depositada no país.
- Retenção dos talentos treinados e atraídos para o setor de microeletrônica.
- Planejar, controlar e avaliar as ações conjuntas das empresas beneficiadas pelo PNM.

As principais ações que o Comitê Gestor deve implementar são:

- Conceber o PNM na forma de Ações e Programas estruturantes, estabelecendo induções por editais/chamadas/encomendas específicas, inclusive edital permanente.
- Estabelecer conceitos, diretrizes e metas dos editais/chamadas/encomendas.
- Definir as regras para participação de interessados, assegurando a efetividade do PNM.
- Estabelecer sistemas de controle e acompanhamento dos projetos com indicadores que permitam a avaliação do atendimento das metas (formação de competência, especialização em determinadas áreas, número de projetos desenvolvidos com parceiros externos, etc.).
- Estabelecer parâmetros para a aplicação dos recursos.

ANEXO I

MICROELETRÔNICA: A Relevância da Tecnologia CMOS para o Futuro do Complexo Eletrônico

SUBSÍDIOS PARA UMA POLÍTICA NA ÁREA DE COMPONENTES SEMICONDUTORES

FOUNDRIES DE SILÍCIO

1. Introdução

Os diagnósticos realizados na última década demonstram que a demanda por componentes semicondutores gerada pela indústria eletro-eletrônica e de bens de informática e telecomunicações instalada no Brasil é atendida via importação destes componentes. É essencial que as ações propostas para a reinserção do país na cadeia de produção de semicondutores contenham uma visão das tendências tecnológicas de longo prazo para a produção de chips.

Este anexo visa deixar claro as principais tendências tecnológicas da área, em particular sobre qual o ritmo dos possíveis “*leapfrogs*” que podem introduzir, e posteriormente alterar qualitativamente, a tecnologia utilizada na produção local. Segmentos de tecnologia industrial crítica como os semicondutores avançam pelo empuxe da demanda sinalizada por outras indústrias, sendo portanto a inovação sujeita constantemente a uma “demand-pull”. Esta característica foi ressaltada no diagnóstico setorial constante da Parte I do Programa Nacional de Microeletrônica.

Uma possível retomada da produção de circuitos integrados (CIs) no Brasil pode dar-se através da combinação das seguintes vias:

- oportunidade para fazer um “catch up” tecnológico com o padrão que prevalece na indústria internacional – atraindo para o Brasil foundries do nível 2 ou 3;
- oportunidade de inovação local, através do investimento público direto em uma facilidade de prototipação do tipo foundry nível 1;
- oportunidade de inovar com um leapfrogging em uma tecnologia nova, que representa alteração da rota tecnológica da indústria.

O estudo realizado pelos autores deste Programa conclui que:

- a produção mais significativa nesta indústria continuará, pelo menos durante os próximos 15 anos, sendo realizada sobre os substratos de silício semicondutor, valendo-se dos mesmos princípios da tecnologia planar de integração de componentes;
- a participação percentual do segmento de circuitos integrados fabricados na tecnologia CMOS continuará crescendo, assim como a importância relativa das tecnologias compatíveis com CMOS – tais como a de silício sobre isolante (SOI), sensores, micro-atuadores, micro- e nanotubos, e dispositivos multi-chip (MCM) sobre silício;
- continua sendo uma estratégia adequada a realização de investimentos em infra-estrutura tecnológica e capacitação locais, inicialmente através de uma foundry nível 1 com processo CMOS de qualidade industrial, com vista à realização de catch-up na área de tecnologias de microfabricação em silício, especialmente naquelas tecnologias que contribuem mais decisivamente para a integração de circuitos integrados avançados em tecnologia CMOS. Observando-se, por relevante, que estes CIs CMOS avançados já contêm

nano-estruturas e materiais nanoestruturados em produção comercial nos processos CMOS.

- as oportunidades de “leapfrogging” em nanotecnologias existem em áreas de aplicação não convencionalmente ligadas à eletrônica – como a catálise química, o armazenamento de energia em alta densidade (mW/grama), a elaboração/síntese de fármacos, algumas dentre uma vasta gama de aplicações. O conjunto de técnicas, instrumentos e materiais a serem utilizados serão muito dependentes do domínio de técnicas já desenvolvidas e aplicadas nos dispositivos nano- e micro-eletrônicos compatíveis com o processo CMOS de fabricação. Destas técnicas e instrumentos já empregados em microeletrônica citamos: a operação de fabricação em ambientes (cleanrooms) ultra-limpos, a síntese e microfabricação sobre materiais ultra-puros, a litografia avançada, a corrosão a plasma de filmes ultra-delgados, a deposição química de vapor e a plasma das nanoestruturas, a implantação de íons sobre grandes áreas do substrato semicondutor (100 a 800 cm²), etc.

2. O Mapa do avanço da integração.

Existe consenso entre os especialistas em semicondutores que o silício continuará sendo o material mais demandado como o substrato para fabricação dos chips, pelo menos por mais 20 anos. As previsões das indústrias líderes de semicondutores, reunidas no esforço internacional coletivo de estabelecimento das tendências futuras no documento International Technology Roadmap of Semiconductors [ITRS2001], definem a permanência do desenvolvimento da integração de sistemas predominantemente em silício pelo menos até 2016. Este conjunto de previsões é formulado com experts representantes das associações SIA (Semiconductor Industry Association, das empresas americanas, que liderou a primeira versão da previsão em 1994), e das associações de indústrias do Japão, da Coreia, de Taiwan e da Europa, com os seguintes objetivos:

- identificar as limitações técnicas (de natureza física, elétrica, tecnológica dos materiais, de limitações dos equipamentos de fabricação, etc.) futuras para o prosseguimento do “scaling” (ou redução) das dimensões dos circuitos eletrônicos fabricados sobre substrato semicondutor;
- identificar as alternativas mais viáveis economicamente de suplantarem as limitações identificadas;
- antecipar a emergência de alternativas tecnológicas para a integração de sistemas;
- Identificar os principais produtos semicondutores cuja demanda presente e futura os tornam “drivers” importantes para justificar o investimento em aperfeiçoamento tecnológico das linhas de fabricação.

As conclusões que prevalecem neste painel do ITRS são:

- a redução dimensional dos transistores e dos dispositivos ativos apresenta vantagens técnicas e econômicas que continuarão a justificar o investimento em tecnologias para o scaling das dimensões dos transistores e dos filmes de interconexão progressivamente, de 130nm (produção atual) a 22nm (com produção prevista para 2016).
- As linhas de chips que, pela demanda global expressiva, continuarão a ser os “drivers” do avanço da tecnologia CMOS são: i) microprocessadores (MPU) de alto desempenho e microprocessadores mais baratos (abaixo de US\$50 por MPU), ii) ASICs, lógica digital complexa e SOC's, inclusive com microprocessadores embutidos nos chips, e iii) memórias DRAMs.

A redução dimensional dos transistores do tipo MOS prevista pelo ITRS está mostrada na Tabela 1. Na Tabela está assinalado o ano correspondente à previsão da existência de ao menos 2 empresas com processos de fabricação CMOS em início de produção naquele grau de integração e definição fotolitográfica. Na tabela 1 o _ pitch refere-se à média da largura e separação mínimas de linhas do primeiro nível de interconexão (em silício policristalino) em chips de memória RAM dinâmica (DRAM) e em microprocessadores (MPU) estado-da-arte. MPU PR refere-se à largura mínima de definição litográfica em material de fotoresina. MPU poli representa a dimensão física final de linhas de poli em microprocessadores do estado-da-arte fabricados em tecnologia CMOS.

Tabela 1
Evolução do Estado da Arte da Tecnologia CMOS
(dimensões em nm)

ANO	2001	2004	2007	2010	2013	2016
DRAM _ pitch	130	90	65	45	32	22
MPU _ pitch	150	90	65	45	32	22
MPU Linha PR mín.	90	53	35	25	18	13
MPU poli (dim. final)	65	37	25	18	13	9

Fonte: ITRS Roadmap

MPU = chip microprocessador

As tendências principais, com impacto nas foundries nível 3 inicialmente, e que são oportunidades a serem capturadas a seguir em foundries nível 2, serão a incorporação maior de substratos de silício sobre isolante e a fabricação de nove a dez camadas de interconexão metálica sobre o wafer. Os dispositivos novos em materiais como hetero-junções SiGe, carbono nanoestruturado, materiais ferro-elétricos e outros, serão introduzidos em chips de forma a serem compatíveis com as tecnologias de fabricação CMOS já pré-existentes.

Segundo este painel de especialistas do ITRS, a tecnologia de fabricação planar para chips do tipo CMOS é rota tecnológica viável técnica e economicamente por no mínimo mais 15 anos. As barreiras técnicas conhecidas para avanço no roadmap estarão sendo objeto de trabalho de pesquisa conjunto das empresas de semicondutores. O meio-pitch de 22 nm possibilitará a integração de memórias de até 64 Gbits por chip. Neste horizonte, as geometrias físicas dos transistores reduzir-se-ão para cerca de 9 a 10 nm. As técnicas litográficas que serão mais viáveis economicamente para serem adotadas em 2007 e depois acham-se ainda em desenvolvimento. Diversas técnicas litográficas estão demonstradas em ambiente de pesquisa pré-industrial de processos; a competição entre elas está centrada na demonstração em regime de produção, de equipamentos e técnicas litográficas de maior throughput possível (medida pelo número de lâminas de 30 cm processadas com alinhamento e exposição por hora).

3. A busca por modelos alternativos para Foundries

As empresas de semicondutores estão buscando técnicas de produção de circuitos CMOS que sejam apropriados para volumes variáveis de produção e que tenham flexibilidade para atender diferentes segmentos de chips. Esta busca tende a afastar a ameaça da predominância de poucas empresas e reduzir as barreiras à inovação inerentes à escala das mega-fábricas. Não existe, todavia, demonstradores claros da viabilidade de foundries totalmente flexíveis. Por ora, as inovações em processo buscam privilegiar processamento wafer-a-wafer, mini-environments mais

baratos de manter, automação contínua e flexível, e equipamentos com flexibilidade para lotes de tamanhos variados.

ANEXO 2

PROGRAMA NACIONAL DE MICROELETRÔNICA

MAPEAMENTO DE COMPETÊNCIAS TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO BRASIL NA ÁREA DE MICROELETRÔNICA

1. Importância da Formação de Recursos Humanos para a Microeletrônica

Há um mercado mundial de bens eletrônicos que demanda constantes inovações. No ano 2001, um mercado da ordem de U\$ 1,2 trilhão anual, segundo a Reed Electronics Research, superando o do petróleo. Cerca de 1/6 deste valor é representado pelo faturamento da indústria de semicondutores – e nesta os circuitos integrados CMOS vêm ganhando fatia de mercado e importância enorme para possibilitar novos sistemas, aplicações e serviços.

A formação avançada em eletrônica, que necessariamente requer o entendimento dos sistemas no nível micro e nano-eletrônico, tem implicações estratégicas porque:

- Está em curso uma revolução de convergência das tecnologias e serviços de informação e telecomunicação (TIC), que em síntese significa a automação total impulsionando a interconexão de pessoas e utilitários em redes de informação/telecomunicação por múltiplos meios de acesso (sem/com fio, em diferentes faixas do espectro electromagnético, com conectividade local e global suportada por uma infra-estrutura ubíqua). Mesmo utilitários domésticos, televisores, mostradores e roupas virão a incorporar dispositivos de silício que farão esta convergência acontecer em produtos que hoje ainda são considerados marginais ou não integrantes do complexo eletrônico. A infra-estrutura de prédios e residências, por exemplo, será crescentemente automatizada por processadores em redes sem fio. Toda a engenharia de bens incorporará chips – mais cedo que tarde.
- Há no mercado internacional uma grande demanda por profissionais projetistas de circuitos integrados. Especificamente as empresas de semicondutores demandam profissionais de muitas áreas da engenharia de sistemas, para concluir os projetos de SOC's complexos de hoje. O chamado "gap" de produtividade dos projetistas que transformam a concepção de um produto em um chip complexo e pronto para ser fabricado, revela que a capacidade das tecnologias estado da arte de integrar transistores excede em muito a base instalada de projetistas capazes de reprojetar os chips antigos para as novas gerações de tecnologias CMOS, e mesmo de projetar novos sistemas. A falta desses projetistas tem impedido um crescimento ainda maior, por exemplo, na oferta de novos produtos na área de telecomunicações, segundo dados das próprias empresas.
- A falta mundial de engenheiros de microeletrônica e a disponibilidade da Internet, que permite realizar projetos em qualquer lugar, representam uma grande oportunidade para a nucleação de grupos de engenharia de projeto de produtos em países como o Brasil. A existência de uma base de recursos humanos no Brasil em número e qualidade para projetar chips é um fator de

atração das atividades de engenharia de maior valor agregado das empresas transnacionais.

- Observa-se uma tendência geral de integração de sistemas num único chip, (“system-on-a-chip”, ou SOC), para os quais o custo do sistema tende ao custo dos ‘chips’. Os projetistas de chips devem hoje dominar a complexidade dos sistemas eletrônicos, como microprocessadores, memórias, sensores, etc., bem como das partes dos sistemas de computação (sistemas operacionais, software, redes, processadores paralelos – todos inter-operando em um único chip), posto que as tecnologias CMOS já permitem a integração crescente destes módulos, até um patamar que em 2002 aproxima-se a cerca de um bilhão de transistores em um único SOC.
- Os mais complexos protocolos de comunicação migram para a implementação em hardware, sempre que apresentam alta demanda e importância no mundo para prover a infra-estrutura de TIC. Exemplos mais recentes destas tendências são os diferentes padrões e protocolos para wireless LANs, 100- e giga-ethernets, chips processadores dedicados para networking, etc.
- Observa-se a tendência de produtos com sistemas embutidos (“embedded systems”), nos quais fica impossível separar software e hardware. Nestes sistemas computacionais, o software e hardware devem ser desenvolvidos conjuntamente e residem na mesma pastilha de silício.
- As tendências anteriores permitem prever módulos de hardware crescentemente compactos e integrados no futuro - embutindo software no hardware – de tal forma que a montagem do bem final será tarefa trivial e o software será, para o usuário final, uma não-escolha: poderá ser crescentemente um bem agregado. Um PC montado pelo próprio usuário, compacto e com vídeo flexível – quase descartável –, montado em estilo-Lego pelo adolescente irá revolucionar a indústria e redistribuir as margens de valor agregado em favor dos fabricantes dos componentes e dos softwares embutidos pelos fabricantes destes. Como já acontece gradativamente na plataforma PC desde sua introdução em 1981.
- A tendência à terceirização da manufatura eletrônica no nível da montagem de placas, uma tendência irreversível verificada nos últimos 10 anos, permite os ganhos de escala que tornam o valor agregado na fase de concepção e design dos componentes mais significativo e atrativo do ponto de vista econômico para as empresas de bens finais.

2. A formação de projetistas de circuitos integrados no Brasil.

A participação dos grupos acadêmicos na formação de projetistas e desenvolvedores de software de automação da concepção e projeto de chips (software de EDA) é uma contribuição expressiva, de importância reconhecida internacionalmente. As ações de estímulo à formação de RH nesta área devem direcionar-se prioritariamente aos grupos universitários com competência em engenharia elétrica e em computação.

A Tabela 1 mostra um levantamento realizado em 2001 do pessoal formado anualmente na área, no Brasil, no nível de pós-graduação, em 15 instituições de ensino superior (IES). A primeira coluna informa a estimativa do número de docentes doutores que têm atividade de pesquisa na área de projeto de CIs naquelas IES. Trata-se de amostragem parcial, posto que há especialistas atuantes em Microeletrônica em outras IES, como UFPb, PUC-RJ, PUC-PR, UFV, UFF, UFSM, UFPel. A amostragem indica que 60 mestres/doutores são egressos destes cursos por ano, para um universo de cerca de 55 docentes com titulação para atuarem como orientadores no nível de pós-graduação na área de projeto de Circuitos

Integrados. É possível alterar o cenário no curto e médio prazos, com a multiplicação de recursos humanos qualificados no setor.

Tabela 1

**Docentes Permanentes, Mestres e Doutores Egressos/ano (2001)
Área de Projeto de CIs e CAD**

Instituição	Docentes Doutores	Mestre/a no	Doutor /ano	Total
UFRGS	9	11	4	15
EPUSP	8	6	3	12
UNICAMP	7	6	4	10
UFRJ	5	2	2	4
UFMG	4	4	1	5
UFSC	3	2	1	3
UNESP	3	2		2
EFEI	2	2		2
UFPe	4	3	1	4
PUCRS	3	2		2
UFPb/CG	2	2		2
UFRN	2	1		1
UnB	3	3	1	5
CEFET-PR	1	1		1
ITA	2	1		1
Total	58	48	17	65

Na Tabela 2 estão listadas as instituições de ensino superior (IES) e os departamentos dos grupos universitários que atuam na área específica de formação em projeto de circuitos integrados e CAD para sistemas integrados, e o número de docentes doutores, orientadores de de teses/dissertações nos níveis de doutorado/mestrado (PG). Os cursos de PG no nível Doutorado estão indicados por (D)

Tabela 2

**Instituições de Nível Superior Atuantes na Formação de Projetistas de
Circuitos Integrados no Brasil**

IES	Departamentos (número de docentes doutores)
UFRGS:	Computação (D)(5), Engenharia (4)
UFSC	Elétrica (D)(2), Informática (1)
USP	Escola Politécnica (D), Escola de Engenharia de São Carlos
UNICAMP	Engenharia Elétrica (D)(5) e Computação (D)(2)
UNESP	Engenharia de Guaratinguetá (1), Rio Preto(1) e FE Ilha Solteira (1)
ITA	Engenharia Elétrica
UFRJ	Engenharia Elétrica (D)(2), Sistemas de Computação (D)(1) e NCE (2)
UFMG	Computação (D)(4)
EFEI	Engenharia Elétrica - Itajubá (2)
UnB	Engenharia (D)(2), Informática (1)
UFBA	Engenharia Elétrica (1)
UFPe	Engenharia Elétrica (2) e Informática (D) (2)
UFPb	Engenharia (2)
UFRN	Informática (2)
UFMS	Eletrônica (2) e Computação
UFPEl	Computação (1)
PUCRS	Informática (2) e Elétrica (1)

Devido ao dinamismo da evolução tecnológica do setor, recomenda-se que estes grupos universitários mantenham constante interação com congêneres acadêmicos e empresariais no exterior e ainda justifica-se que as agências federais de bolsas de pós-graduação continuem apoiando a formação de engenheiros em cursos de pós-graduação no exterior.

Entre as Universidades nomeadas na Tabela 2, apenas 4 instituições possuem instalações laboratoriais de escala acadêmica para processamento de alguma etapa físico-química do silício: UFRGS (IF), UNICAMP (CCS), USP (Politécnica) e UFPe (IF/EE). Apenas estas poderiam transformar o projeto de um dispositivo ou circuito integrado simples, desde que contenha poucos milhares de transistores, em um protótipo acadêmico. Nenhuma destas instituições possui salas limpas e equipamentos que possibilitem a prototipagem completa de um circuito integrado com dimensões sub-micrométricas. Considerando que o estado da arte ultrapassa mais de um milhão de transistores por chip, com linhas da ordem de 0,13µm ou menos, o quadro dos laboratórios universitários de processo é de completa desatualização.

Outros centros não universitários ativos na área de projeto de CIs, que porém não concedem titulação de pós-graduação em Microeletrônica incluem: Instituto CENPRA (ex-CTI), Instituto Eldorado e Instituto Genius (Manaus). Os institutos do MCT como o LNLS e o INPE concentram-se em dispositivos e capacidades específicas (como sensores e caracterização avançada com radiação síncrotron).

Os maiores empregadores de projetistas de CIs no Brasil foram, até 1998 o Centro de Pesquisas CPqD da ex-Telebrás, e após o ano 2001 o Centro BSTC – design house da Motorola Semicondutores SPS Inc. na cidade de Jaguariúna. Em agosto de 2002 esta design house empregava cerca de 91 engenheiros e técnicos, sendo 45 destes graduados, 28 mestres e 08 doutores. Em meados de 2000 eram cerca de 27 engenheiros, o que demonstra forte expansão mesmo em circunstância de crise internacional no biênio 2000-2002.

3. A Formação de Recursos Humanos em Microeletrônica no Brasil. Áreas, instituições e grupos de pesquisa.

A área de Microeletrônica abrange também outras disciplinas que contribuem para o complexo processo de fabricação de chips. Da opto-eletrônica, mecânica de precisão, física e engenharia de materiais – uma vastidão de métodos, técnicas e conhecimentos de amplo espectro de disciplinas contribuem para as tecnologias, equipamentos e processos de fabricação de semicondutores. Portanto, delimitar a formação de RH específica para a Microeletrônica é tarefa multidisciplinar.

A Tabela 3 mostra uma estimativa parcial do número e da titulação de cerca de 260 profissionais, atuantes em instituições de P&D no Brasil, em diferentes aspectos da microeletrônica. A abrangência temática destes profissionais é mais ampla que a considerada na Tabela 1, já que aquela referia-se apenas à formação de projetistas de CIs e de desenvolvedores de software para EDA. Os temas considerados na Tabela 3 são aqueles relacionados aos processos físico-químicos e aos dispositivos integrados em silício (P), os aspectos de projeto de circuitos e CAD (PC), e a caracterização de materiais (C) – uma atividade normalmente exercida por engenheiros e cientistas de materiais, físicos, químicos, engenheiros eletrônicos, etc.

Tabela 3

PROFISSIONAIS de Ensino, Pesquisa e Desenvolvimento atuando em Instituições no Brasil

Dados de Abril/2001

Área: **Microeletrônica**

Sub-Áreas: (P)-Processos/Dispositivos - (PC)-Projeto/CAD - (C) - Caracterização

P - PC - C

P-PC-C : Profissionais em Processos – Projeto/CAD - Caracterização

Instituição	Doutores P-PC-C	Mestres P-PC-C	Eng./Bel. P-PC-C	Tecnólogo/ Técnico P-PC-C	Total
CCS – UNICAMP	7-0-0	1-0-0	2-0-0	4-0-0	14
FEEC – UNICAMP	7-4-0	-	-	-	11
LPD – UNICAMP	4-0-0	1-0-0	1-0-0	-	06
UFPe	4-4-0	0-1-0	-	2-0-0	11
EFEI	0-3-0	-	-	-	03
CTI					
LNLS	2-0-0	-	-	1-0-0	03
EPUSP	20-11-0	3-3-1	4- 4-2	15-3-3	69
UFRGS - Inst. Info.	0-7-1	0-3-0	0-0-0		11
UFRGS- Eng. Elét	0-4-1	0-4-2	---		11
UFRGS- I. Física	6-0-4	2-0-0			12
UFRJ	0-3-0				03
UFSC	0-2-1				03
UFMG	0-1-3				04
PUC-RJ					
UnB	2-3-1	1-1-1			09
PUC-RS	1-3-0				04
CETEC-MG					
CPqD					
Motorola Inc. BSTC	0-8-0	0-27-1	0-42-3	0-9-0	90
LACTEC	0-1-0	0-2-0	-	-	03
	114	54	59	37	264

A Tabela 4 mostra um resumo estimativo dos recursos humanos formados atualmente, e uma sugestão de meta para números anuais atingíveis no médio prazo, em 2005, tendo por base a capacidade instalada em docentes atuantes no país. Em 2005, com a atuação de cerca de 25 cursos de PG, envolvendo cerca de 60 docentes doutores ativos em pesquisa em projeto e CAD para silício, pode-se atingir a formação de 160 mestres/ano e 40 doutores/ano. A meta da Tabela 4 para o ano de 2005 é factível, por representar a formação de 3 mestres em Engenharia ou Computação de sistemas microeletrônicos e 1 Doutor por orientador-ano engajado em cursos de doutorado no país. Estes dados nos dão uma estimativa do esforço necessário que deve ser feito pelo setor acadêmico.

A tabela 5 mostra um levantamento parcial do número de engenheiros, físicos e informatas com formação em sistemas em silício, com orientação da sua formação para uma ou mais das áreas aplicadas a: projeto de circuitos integrados, desenvolvimento de CAD para projeto e técnicas e processos de microfabricação em silício. Verifica-se que o treinamento/especialização de pessoal em processos de montagem/encapsulamento de circuitos integrados é feito normalmente in-job., sendo

a formação básica do profissional provida pelas escolas de engenharias elétrica e de produção.

Tabela 4 : Estimativa do número de mestres e doutores formados por ano em todas as sub-áreas da Microeletrônica.

Alunos / ano	Atual	Alvo (2005)	Fator
Mestres	50	160	3 X
Doutores	20	40	2 X

O número da tabela 5 é uma estimativa pessimista, haja vista que existe, na área de processos e dispositivos, uma pulverização dos programas de formação em uma variedade de cursos/currículos de engenharia elétrica, engenharia de materiais, metalúrgica, física, química, ciência de materiais. O levantamento realizado pela comunidade acadêmica utilizou o critério da inserção destes recursos humanos na temática mais abrangente de integração de sistemas. Os dados foram obtidos junto a 11 Universidades em e 3 Escolas/Institutos Tecnológicos localizados em 09 estados da federação. Uma fração expressiva dos titulados nos níveis mestrado/doutorado incorporam-se às atividades acadêmicas do ensino superior e outros ingressam em outras atividades profissionais relacionadas às tecnologias TIC.

Tabela 5: Número estimado de profissionais titulados em tecnologias relacionadas aos sistemas em semicondutores (egressos por ano).

Nível de Formação	Tecnólogo em Processo	Bacharel/ Engenheiro (P,D)	Mestre (P,D)	Doutor (P,D)	Total (Processos e Design)
Total	25	55	60	20	160

P= Processos de Fabricação e dispositivos, D=Design : projeto de CIs e CAD(software de auxílio ao projeto de CIs)

No Brasil verifica-se que há quatro instituições que possuem instalações equipadas para pesquisa em algumas das técnicas de microfabricação em silício. Trata-se de infra-estrutura universitária, com equipamentos antigos, adequada para a realização de pesquisa, mas inadequada à prototipagem de chips. São estes a Unicamp, USP (Politécnica), UFRGS (Inst. Física) e UFPe (Inst. Física). Os grupos de P&D ativos nas Universidades realizam pesquisa mais acadêmica, dado que inexistente a indústria local de fabricação CMOS. A vinculação maior destes grupos se dá com congêneres no exterior, normalmente instituições universitárias de pesquisa.

Outros centros não universitários que não oferecem graus acadêmicos mas incorporam grupos de desenvolvimento que colaboram diretamente com as instituições formadoras, incluem o ITI-CENPRA, LNLS e INPE. O ITI-CENPRA detém infra-estrutura de fabricação de máscaras por escrita direta de feixe de elétrons e também uma linha piloto de encapsulamento para baixo volume de produção de CIs. Esta linha não incorpora os equipamentos mais modernos para os CIs com grande número de entradas/saídas.

ANEXO 3

SUMÁRIO DO LEVANTAMENTO SOBRE COMPETÊNCIAS NA ÁREA DE SEMICONDUTORES NO BRASIL

FONTE: MDIC/2002

Um levantamento mais abrangente foi realizado em 2002 por um grupo governamental com consultores da área (Sistema de Informações em Semicondutores, Ministério da Ind., Comércio, <http://www.mdic.gov.br>), baseando-se apenas na designação genérica de linhas de pesquisa e trabalho técnico-científico relacionado aos materiais “Semicondutores”. A fonte primária do levantamento foi a base de dados do Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq e o sistema Lattes de currícula. Uma tipificação genérica, sem restrição de aplicação a circuitos integrados ou sem restrição à quais metodologias de estudo – teórica ou teórica/experimental ou tecnologia industrial básica, revelou existir no Brasil cerca de 108 grupos de pesquisa trabalhando em diferentes aspectos da ciência e engenharia dos semicondutores – com ou sem aplicação aos circuitos integrados. O quadro de distribuição destas abrangentes competências está sumarizado abaixo.

QUADRO de Distribuição das Competências Técnico-Científicas no Brasil na área de Semicondutores

COMPETÊNCIA Técnica em Semicondutores no Brasil

Grupos de Pesquisa	108
Universidades e Centros de Pesquisa	38
Número de Linhas de Pesquisa	411
Pesquisadores e técnicos diretamente vinculados	457
09 Áreas/Sub-áreas de atividade técnica-científica	EE, CC, Eng. Computação, Física, Química, Eng. e Ciência dos Materiais
