



XII Seminario Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica - ALTEC 2007

Capacitação Científica e Tecnológica na Indústria Brasileira de Semicondutores

De Carvalho Varrichio, Pollyana
Pontifícia Universidade Católica de Campinas/SP – Brasil
pollyana@ige.unicamp.br

Queiroz Robles Reis, Sergio
Instituto de Geociências, UNICAMP, Campinas/SP – Brasil
squeiroz@ige.unicamp.br

Resumo

Para países em desenvolvimento, como o Brasil, é imprescindível a necessidade de uma diversificação das atividades produtivas, principalmente em setores com maior valor agregado e conhecimento, como na indústria de semicondutores ou *chips*. O setor também é uma das prioridades da atual política industrial brasileira, a PITCE (Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, 2004), diante dos *déficits* estruturais e crescentes na balança comercial ocasionados pela importação desses componentes. Com essa preocupação, o objetivo deste trabalho foi examinar as dificuldades na capacitação tecnológica da indústria de semicondutores brasileira em seu processo de expansão por meio das *design houses*, as companhias de projeto. A metodologia de pesquisa consistiu na análise de dados primários qualitativos (coletados em entrevistas estruturadas nos centros de pesquisa e empresas) e dados secundários quantitativos sobre o Brasil e outros países, além de bibliografia referente a desenvolvimento industrial em semicondutores. O trabalho evidenciou, por um lado, o caráter incipiente da indústria de *chips* brasileira, mas, por outro, a existência de capacidades científicas e tecnológicas no segmento de projeto dos semicondutores, presente em grupos e centros de pesquisa e na única *design house* do país (Freescale). No entanto, a análise da experiência internacional de sucesso (Taiwan) mostrou que desenvolvimento da etapa de manufatura (empresas integradas ou *foundries*) torna-se vital para a sustentabilidade da cadeia produtiva, diante das interações e aprendizado tecnológico entre as diversas empresas do setor.

Por isso, o trabalho concluiu que é necessário um processo de desenvolvimento industrial e capacitação tecnológica, capaz de integrar as diversas etapas da cadeia produtiva, que promova um “círculo virtuoso”, o qual possa sustentar o crescimento da indústria a longo prazo.

1. Introdução

Nos últimos anos tem ocorrido um intenso debate no Brasil sobre a necessidade e a conveniência dos esforços para o desenvolvimento da indústria de componentes semicondutores envolvendo membros do meio acadêmico¹, do empresarial e do governo, com ênfase na viabilidade e na importância da atração de uma fábrica de *chips* para o país. O debate tornou-se ainda mais intenso com a seleção dessa indústria como uma das “opções estratégicas” da atual Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, lançada em 2004. No ano passado o segmento entrou em destaque mais uma vez, já que investimentos estrangeiros no setor tornaram-se uma das contrapartidas exigidas pelo governo durante as negociações para a adoção do padrão de TV Digital no país entre os norte-americanos, europeus e japoneses.

Essas discussões têm questionado a validade das iniciativas que tentam promover uma maior internalização das atividades desse setor no país, cuja produção local permanece restrita a um pequeno grupo de empresas que desenvolvem atividades relacionadas à montagem de *kits* importados, empacotamento e testes dos circuitos integrados ou atuando em segmentos pouco expressivos. Essa incapacidade da produção local em atender à demanda dos segmentos usuários finais desses componentes microeletrônicos, como o complexo eletrônico, os equipamentos para telecomunicações, a informática, o setor automotivo e todos os demais setores que demandam circuitos em seus componentes, tem ocasionado um fluxo expressivo de importações de semicondutores, causando *déficits* estruturais e crescentes na balança comercial.

Compartilhando da perspectiva de que o desenvolvimento da indústria brasileira de semicondutores seria uma forma de diversificar a estrutura industrial existente e de ampliar as oportunidades nos mercados internacionais do país, diante do seu potencial em agregar de valor e conhecimento a novos produtos capazes de difundir tecnologia por situar-se na “fronteira tecnológica”, podendo promover efeitos indiretos como: um aumento da capacitação tecnológica, um aumento da competitividade e uma redução da vulnerabilidade, diante da diminuição da dependência dos mercados externos². Com essa preocupação o presente artigo apresenta, em parte, os resultados de uma dissertação que buscou elementos para melhor fundamentar esse debate, avaliando se uma de suas trajetórias possíveis é adequada. Para tanto, o referido trabalho examinou as perspectivas, com suas possibilidades e limitações, do desenvolvimento dessa indústria no Brasil por meio das companhias de projeto,

¹ Como ilustra o artigo de SWART e VAN NOIJE (2006).

² O argumento sobre a necessidade de uma maior diversificação da estrutura industrial, principalmente para países em desenvolvimento, é sustentado por CIMOLI *et al* (2006), dentre outros.

as *design houses*³. O exame desta trajetória se justifica por dois elementos: aproveitar-se das oportunidades que emergem na área de projetos na indústria mundial de *chips* e usufruir das capacidades existentes na indústria nacional nesse segmento. Com o intuito de responder às seguintes questões: a trajetória de desenvolvimento da indústria de semicondutores por meio das companhias de projeto no Brasil é possível? E, além disso, apenas o desenvolvimento de *design houses* brasileiras permite a construção de uma trajetória estruturada e auto-sustentável no longo prazo?

A partir da revisão bibliográfica, fundamentada em estudos das abordagens *evolucionista* e *neo-schumpeteriana*, o estudo de âmbito setorial procurou balizar elementos fundamentais de trajetórias de desenvolvimento industrial, especialmente na indústria de semicondutores e nos aspectos relacionados à capacitação tecnológica de países competitivos nesse segmento. A metodologia de pesquisa consistiu na análise de dados primários qualitativos (coletados em entrevistas estruturadas nos centros de pesquisa e empresas atuantes em projetos de semicondutores no país) e dados secundários quantitativos sobre o Brasil e outros países, além de bibliografia referente a desenvolvimento industrial em semicondutores. Desta forma, por meio da análise dos dados primários levantados nas entrevistas foi possível a avaliação das capacidades científicas e tecnológicas existentes nesse segmento de projetos de semicondutores no Brasil.

O presente artigo está estruturado em cinco seções. A primeira, a introdução, apresenta um panorama sobre o debate acerca das possibilidades de desenvolvimento da indústria de semicondutores no Brasil e demonstra as motivações para o estudo da trajetória do desenvolvimento por meio das *design houses*. A segunda seção apresenta as características estruturais, econômicas e tendências recentes da indústria mundial de semicondutores, com destaque para a especialização vertical nas etapas da produção e, diante disso, as oportunidades que emergem para os novos entrantes em projetos de *chips*. A terceira seção analisa a experiência de Taiwan no desenvolvimento da indústria de semicondutores, considerando que o mesmo é um país de desenvolvimento tardio nesse segmento e hoje é fortemente competitivo diante de sua posição como quarto maior produtor mundial, líder no segmento das *foundries* e segundo maior fabricante mundial no segmento de *design* de circuitos integrados. A quarta seção examina a indústria brasileira de semicondutores, foco central deste artigo, primeiramente mostrando a necessidade de esforços para uma maior internalização da produção diante dos déficits estruturais e crescentes e do seu caráter incipiente em termos de atividades de manufatura e, por outro lado, as razoáveis capacidades científicas e tecnológicas em projeto de semicondutores. Finalmente, a quinta seção, nas considerações finais do trabalho, reforça o argumento de que, embora existam capacidades científicas e tecnológicas em projetos, isso não é condição suficiente para o desenvolvimento industrial em semicondutores diante da necessidade de interação e integração das diversas atividades produtivas (manufatura e projetos) para que o desenvolvimento possa ser sustentado e de longo prazo.

2. Caracterização da Indústria de Semicondutores

³ Vale ressaltar que se trata de um espaço analítico restrito de pesquisa, já que nosso objetivo é examinar as possibilidades de um dos caminhos existentes, embora haja diversas trajetórias plausíveis para o desenvolvimento da indústria de semicondutores nacional.

2. 1. Características Estruturais

Os componentes semicondutores têm penetração direta ou indireta em praticamente todos os setores produtivos e aspectos da rotina da vida moderna: seja de maneira intensa e direta (como nos setores de informática, telecomunicações e eletrônica de consumo), seja de forma embarcada (como na automação industrial ou produção de automóveis), ou mesmo de forma indireta, como na produção têxtil e na indústria alimentícia, já que os *chips* estão presentes na maquinaria e nos computadores que gerenciam essas atividades produtivas, além de ocasionar mudanças tecnológicas nas diversas indústrias e efeitos sobre toda economia⁴.

Dentre as características estruturais da indústria de semicondutores merece destaque a sua dinâmica de inovação bastante acelerada, resultante da combinação das elevadas taxas de inovação tecnológica; da densidade e da complexidade de suas tecnologias (DAHMEN, 1993 e AMATO NETO *et al*, 2003) e do seu caráter intensivo em capital e em atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D), o que gera elevados investimentos e riscos para os fabricantes desse segmento. Há também um forte dinamismo, uma vez que a indústria de semicondutores que apresenta uma taxa média de crescimento anual de 13,5% nos últimos 20 anos, enquanto que as economias mundiais cresceram cerca de 3 a 4% a.a (OLIVEIRA e MIGUEL, 2004; BAMPI, 2004). Além do dinamismo, a dimensão da indústria de semicondutores é bastante expressiva, principalmente se observarmos o investimento requerido para uma instalação industrial em manufatura de *chips*, ou seja, são necessários de US\$ 1 a 3 bilhões para a criação de uma *foundry*, a instalação produtiva com tecnologia de ponta que realiza exclusivamente a fundição dos semicondutores, além dos investimentos contínuos para atualização tecnológica dessas instalações produtivas.

Finalmente, embora a indústria de semicondutores apresente períodos de instabilidade em sua taxa de crescimento, as perspectivas futuras são favoráveis: segundo informações da SIA (Semiconductor Industry Association) a indústria de semicondutores mundial deve continuar a crescer nos próximos anos: cerca de 10,5% em 2007 e 13,9% em 2008, sendo que seu mercado mundial atingiu um fluxo de US\$250 bilhões em 2006 e com expectativa de que possa alcançar US\$ 321 bilhões em 2009 (IEDI,2007).

2. 2. Características Econômicas e Tendências Recentes

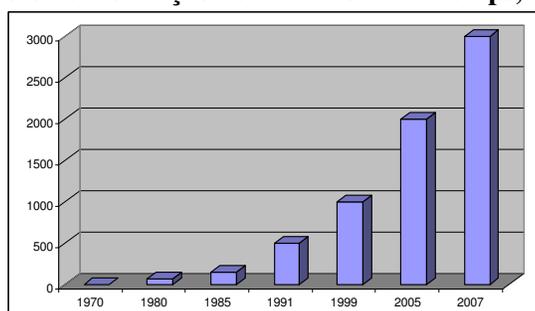
A especialização vertical é uma mudança estrutural na distribuição das atividades produtivas e tecnológicas na cadeia de valor da indústria, com o surgimento de empresas especializadas em determinados segmentos. Essa reconfiguração das atividades produtivas se disseminou na indústria de *chips*: a produção deixou de ser dominada exclusivamente pela integração vertical, realizadas pelas empresas integradas (IDM - *Integrated Device Manufacture*) - que executavam a concepção, projeto, fabricação, encapsulamento e testes - para se tornar uma complexa estrutura, em que empresas integradas interagem com empresas especializadas (*foundries e fabless*), sendo que, embora as primeiras prevaleçam, o último

⁴ A importância estratégica dos componentes semicondutores para o desenvolvimento econômico é reconhecida e tema de preocupação em vários países, prova disso é que os EUA tratam a indústria como assunto de segurança nacional e, por isso, o governo federal gasta cerca de US\$1,3 bilhão no financiamento às atividades de P&D para o setor (IEDI, 2007).

segmento apresenta grande potencial de crescimento. A tendência de especialização vertical em semicondutores iniciou-se nos anos 80 com separação das atividades de fabricação e projeto do componentes e, depois ampliou-se para as demais atividades de manufatura com o surgimento de novos modelos de negócios, criando uma complexa rede global de produção internacional (ERNEST, 2003 e MACHER e MOWERY, 2004).

Nesse contexto, a busca por economias de escala, a redução no ciclo de vida dos produtos combinados e o custo crescente das instalações industriais, evidenciado nos dados que mostram o aumento progressivo dos investimentos para instalação de uma planta produtiva no segmento, como mostra o gráfico 1 abaixo, foram os elementos centrais para impulsionar a especialização vertical das atividades no setor.

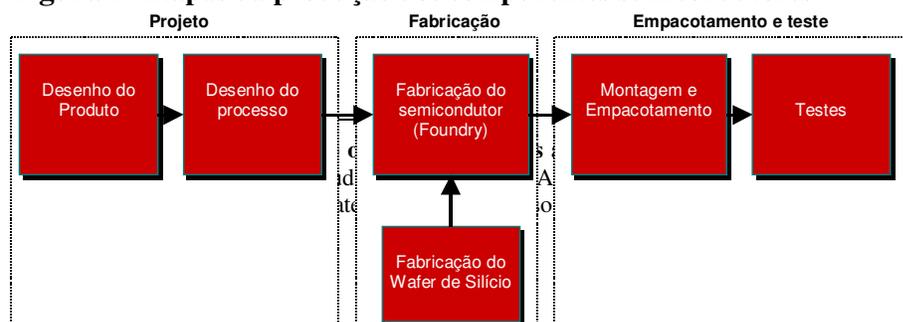
Gráfico 1. Evolução do custo de instalação de uma fábrica de chips, em US\$ milhões, 1970-2007.



Nota: O custo para o ano de 2007 foi discutido por especialistas no SEMINATEC-2007⁵.
 Fonte: Elaboração própria a partir de diversos dados.

A disseminação da especialização vertical na indústria de *chips* representou uma maior divisão do trabalho nas etapas da cadeia produtiva desses componentes, as quais caracterizam-se por 3 etapas fundamentais: 1. projeto, 2. manufatura e 3. encapsulamento e testes desses componentes (fase final), como ilustra a figura 1 a seguir.

Figura 1. Etapas da produção dos componentes semicondutores



evento realizado nos dias 17 e 18
 Mais informações em

Fonte: AMATO NETO *et al*, 2002.

Com essa expansão da especialização vertical, passaram a existir duas formas de organização da produção na indústria de semicondutores. Há as empresas de manufatura integrada (IDM - *Integrated Device Manufacture*), que surgiram nos anos 60 e que realizam integralmente todas as etapas da produção de semicondutores – concepção, projeto, fabricação, encapsulamento e testes e as empresas especializadas nos processos de fundição de *chips* – as *foundries*⁶ – que terceirizam as demais atividades da cadeia produtiva dos componentes semicondutores.

Como essas empresas se especializaram na fabricação do *wafer* e não se envolveram mais nas atividades de *design* dos seus próprios *chips*, houve uma maior divisão social do trabalho na produção, com o surgimento de uma demanda crescente pelos serviços de *design*, criando um grande mercado de projetos de semicondutores mundial, além do fato de que nesse segmento as barreiras à entrada são menores, já que o investimento necessário era bem menor, com custo estimado de US\$ 1 a 5 milhões⁷, dado que o principal elemento para a criação das companhias de projeto (*design houses*) era o conhecimento técnico especializado, ou seja, recursos humanos qualificados na área.

Nos anos 90, a especialização vertical se amplia ainda mais no modo de organização da produção da indústria de semicondutores, já que surgiram empresas especializadas na comercialização dos direitos de propriedade intelectual (IP – *intellectual property*) dos semicondutores – seja das tecnologias, arquiteturas, *softwares* ou projeto dos circuitos – tratando da comercialização de bibliotecas de soluções tecnológicas específicas para a sua reaplicação, as *chipless*.

Diante dessa permanente reconfiguração das atividades produtivas da indústria de *chips* decorrente da tendência de especialização vertical, surgem permanentemente novas oportunidades, principalmente para a criação de *design houses* em países de desenvolvimento tardio, como o Brasil. Portanto, temos que avaliar quais são as capacidades tecnológicas requeridas para o aproveitamento dessas “janelas de oportunidade” da indústria de mundial de semicondutores na área de projetos. Em função disso, a seguir analisaremos de forma sucinta

⁶ Uma referência importante na indústria mundial de semicondutores com relação à separação das atividades de projetos das de fabricação foi o surgimento da “Taiwan Semiconductor Manufacture Company” (TSMC), no ano de 1987 em Taiwan, implementando a inovação industrial denominada de “modelo *foundry*”, com empresas especializadas na fundição desses componentes.

⁷ Segundo BAMPI (2004) essa estimativa de custo refere-se aos recursos necessários para a implementação das estações de trabalho, contratação de pessoal especializado e qualificado e compra de ‘pacotes’ de *softwares* para automação de projetos eletrônicos, sendo que este é o item mais dispendioso, com gastos em torno de US\$ 1 milhão por ano em licenças

uma experiência internacional de sucesso de desenvolvimento tardio em semicondutores, o caso de Taiwan.

2. Lições de uma experiência de desenvolvimento tardio bem sucedido na indústria de semicondutores: Taiwan

Para o exame sobre uma estratégia para o desenvolvimento da indústria de semicondutores brasileira por meio do segmento de projetos é importante analisarmos uma experiência internacional de sucesso, principalmente dentre os países com desenvolvimento tardio - os *latecomers*⁸ - que tiveram resultados positivos diante dos seus esforços sistemáticos para capacitação tecnológica e desenvolvimento econômico recentemente, com destaque para os países do Leste Asiático.

Nesta perspectiva, Taiwan surge como um estudo de caso promissor por diversos elementos. Primeiro, porque hoje o país se consolida como competitivo na indústria de semicondutores, dado que é o quarto maior produtor mundial, líder no segmento das *foundries* e segundo maior fabricante mundial no segmento de *design* de circuitos integrados. Segundo, visto que realizou seu desenvolvimento em semicondutores somente a partir dos anos 70, é um país que ingressou tardiamente na indústria, de forma diferente dos produtores tradicionais – EUA e Japão. O terceiro elemento está relacionado com a sua forma de inserção internacional, por meio da produção em um nicho de mercado, dado que o país investiu em produtos de aplicação específica (produtos eletrônicos digitais) e intensivos em *design*, além de implementar um modelo de negócios fundamentado nas *foundries*. A análise da trajetória do desenvolvimento da indústria de semicondutores em Taiwan nos aponta uma série de elementos determinantes, que construídos de forma articulada e planejada, permitem compreender a construção de capacidades tecnológicas diferenciadas e a inserção internacional competitiva do país⁹.

Primeiramente, um elemento fundamental para o desenvolvimento da indústria de *chips* em Taiwan foi a atuação do Estado – seja como planejador, executor e financiador. O governo organizou o desenvolvimento do setor em uma estratégia voltada para as exportações, com uma série de políticas estruturadas e contínuas por meio do monitoramento permanente das necessidades que emergiam do setor. Para isso, criou um diversificado aparato institucional, em que é central a atuação do ERSO (Organização de Serviço para Pesquisa Eletrônica), ITRI (Instituto de Pesquisa Industrial e Tecnológica)¹⁰ e do Parque Hsinchu¹¹,

⁸ São chamados de *latecomers* os países de desenvolvimento tardio (anos 70 e 80) que alcançaram competitividade por meio de esforço sistemático em aprendizado tecnológico e diversificação da sua estrutura industrial, ou seja, esses países promoveram um processo de *catching-up*, para superar suas desvantagens competitivas iniciais (por exemplo, locacionais e tecnológicas), como a Coreia do Sul e Taiwan, dentre outros do Leste Asiático.

⁹ Vale ressaltar que isto não significa que possamos replicar esta experiência, já que nossa estrutura industrial, o momento histórico e as próprias características do setor não são as mesmas, porém, a trajetória de Taiwan é permeada de elementos que podem ser utilizados como uma orientação para a indústria brasileira.

¹⁰ O ERSO e o ITRI foram criados em 1974, sendo que o primeiro realizava planejamento e condução de projetos, além da comercialização dos produtos finais, enquanto que o segundo era laboratório público de pesquisa aplicada, que conduzia as atividades de P&D, executava os projetos de pesquisa, treinava pessoal qualificado, fabricava produtos nas plantas-piloto e disseminava as tecnologias estrangeiras para as empresas locais por meio de *spin-offs*, sendo assim uma fundamental fonte geradora de capital humano e social (HSU, 2001; LO, LIOU e YUAN, 2005).

¹¹ O parque de ciência Hsinchu foi criado em 1979 com o objetivo atrair empresas e especialistas em alta tecnologia, assim como incentivar as inovações tecnológicas e promover um ‘ambiente favorável’ para o segmento de semicondutores. O governo oferecia uma série de benefícios fiscais e isenções (MATHEWS, 1997).

tanto para a articulação com o segmento privado – considerando sua peculiaridade de ser formado basicamente por pequenas e médias empresas – como também para desenvolver mecanismos de transferência e difusão tecnológica, garantindo que as tecnologias consideradas “chaves” para o desenvolvimento do setor fossem adquiridas e assimiladas localmente.

Segundo, este processo de transferência tecnológica mostra-se claramente seletivo e planejado, uma vez que o país optou pela aquisição de tecnologia estrangeira como forma de “economizar tempo” no processo de aprendizado tecnológico¹² e selecionou a entrada no segmento dos circuitos integrados de aplicação específica, considerado um nicho de mercado, já que os produtores tradicionais de semicondutores – EUA, Japão e Coreia do Sul – ainda não haviam dominado tal setor.

Terceiro, outro elemento que foi criteriosamente selecionado na participação do desenvolvimento da indústria de semicondutores taiwanesa foi o investimento direto estrangeiro (IDE), primeiro, na forma de implantação de filiais de empresas multinacionais (principalmente no Hsinchu) e, depois, na década de 90, por meio da formação de alianças estratégicas tecnológicas. A entrada do IDE neste processo não pode ser considerada aleatória porque o governo somente permitia a participação das multinacionais em parcerias para originar empresas *spin-offs*¹³ na medida em que, como contrapartida - particularmente para as isenções e incentivos oferecidos - as matrizes destas empresas permitissem o acesso dos técnicos locais às tecnologias estrangeiras e houvesse intercâmbio de recursos humanos¹⁴. Esse mecanismo foi utilizado para garantir efetivamente o processo de assimilação das tecnologias estrangeiras localmente e também para evitar que as multinacionais viessem a se instalar no país exclusivamente para se aproveitar da infra-estrutura disponível e dos recursos humanos oferecidos a um custo relativo menor, além das isenções e incentivos fiscais.

Além disso, permanente monitoramento da dinâmica de inovação do segmento de semicondutores globalmente permitiu que os planejadores, juntamente com empreendedores locais, que retornaram ao país após uma longa experiência no exterior, percebessem que a implementação do modelo *foundry*, com a especialização de Taiwan na manufatura do semicondutor propriamente dita, poderia se tornar uma inovação organizacional que romperia com o modo de produção tradicional da indústria e se tornasse o grande diferencial competitivo do país nos mercados internacionais. A implementação dessa inovação industrial – a prestação dos serviços de *foundry* – juntamente com a entrada no segmento dos circuitos integrados de aplicação específica (ASICs), um nicho no mercado mundial, foi essencial para o sucesso no processo de desenvolvimento da indústria, já que foi um mecanismo criador de capacidades tecnológicas diferenciadas para o país, na medida em que permitiu articular as instituições públicas de pesquisa, infra-estrutura tecnológica existente e a estrutura de

¹² Também foram articulados mecanismos para que fosse garantida não somente a transferência da tecnologia estrangeira, mas também sua assimilação e difusão no ambiente local com destaque para o intercâmbio de pessoal especializado e qualificado com outros centros de alta tecnologia globais como o Vale do Silício nos EUA.

¹³ As empresas *spin-offs* do ERSO foram a UMC (1980), TSMC (1987), TMC (1988) e Vanguard (1994) totalizando 555 pessoas do instituto que foram para a iniciativa privada. Para uma análise mais detalhada do desenvolvimento da indústria de semicondutores em Taiwan sugerimos a consulta em CARVALHO VARRICHIO (2006).

¹⁴ Essas contrapartidas objetivavam evitar que as multinacionais se instalassem no país exclusivamente para se aproveitar da infra-estrutura disponível e dos recursos humanos oferecidos a um custo relativo menor, além das isenções e incentivos fiscais.

pequenas e médias empresas, construindo uma vantagem competitiva alternativa nos mercados internacionais.

Finalmente, o exame da experiência internacional revelou que o desenvolvimento apenas do segmento de *design* possui limitações, ou seja, a trajetória de desenvolvimento por meio das *design houses* não é autônoma. Esta constatação se esclarece ao analisarmos os elementos que compõe a realidade do desenvolvimento da indústria de semicondutores em Taiwan. Taiwan atraiu empresas de manufatura que se integraram e interagiram continuamente com as *design houses*, além dos usuários finais desses *chips*, criando um fluxo contínuo de conhecimento (inclusive tácito), aprendizado tecnológico e geração de *spillovers*, formando um “círculo virtuoso” que se auto-alimenta e cria novas possibilidades e capacidades tecnológicas a todo momento, sustentando uma trajetória autônoma de desenvolvimento. Além disso, as empresas de manufatura requerem crescentemente serviços de *design* específicos para os seus produtos, possibilitando a criação de novas oportunidades de mercado e a consolidação de capacidades tecnológicas. Foi exatamente a interação entre esses dois segmentos da indústria de semicondutores, efetivado pela co-existência de ambos em uma mesma base territorial, possibilitou a criação de um ‘ambiente favorável’ que permuta suas capacidades tecnológicas permanentemente e é capaz de sustentar a trajetória de desenvolvimento da indústria de semicondutores. Desta forma, podemos inferir que a criação apenas de *design houses* é um caminho de desenvolvimento, mas frágil e limitado, uma vez que as interações no ambiente local (particularmente com empresas de manufatura) se tornam um elemento fundamental para a sustentação de uma trajetória de desenvolvimento de longo prazo da indústria de semicondutores.

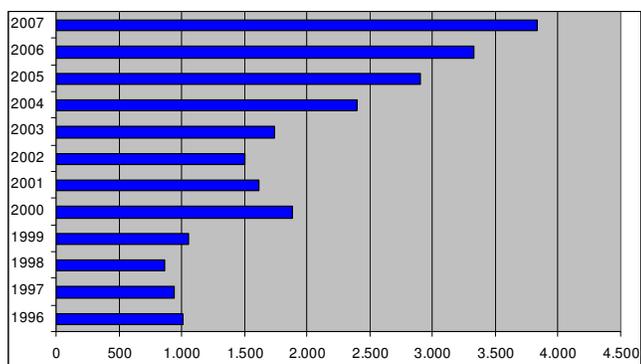
4. A indústria de semicondutores no Brasil

4.1. A necessidade dos esforços para internalização da produção

Uma das mais fortes motivações para estudarmos formas de aumentar a internalização das atividades produtivas em *chips* no Brasil e que provavelmente justifica a inclusão do setor em uma das prioridades da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior¹⁵ (PITCE) do atual governo, lançada em 2004, é a existência de progressivos e estruturais *déficits* na balança comercial, decorrentes da dependência dos componentes importados, geralmente na forma de *kits* que são apenas montados localmente. A seguir são apresentados os dados das importações de semicondutores, no gráfico 2, que mostra que os *déficits* têm aumentado gradualmente e devem continuar se ampliando diante da incorporação desses componentes em um número cada vez maior de produtos.

Gráfico 2. Evolução das importações de semicondutores, 1996-2007*, em US\$ milhões.

¹⁵ Para um detalhamento da PITCE, sugerimos a consulta na sua proposta inicial: MCT, 2003.



*Nota: O fluxo de 2007 é uma estimativa referenciada na taxa de crescimento entre 2005/2006 de 15%a.a. Fonte:Elaboração própria a partir de dados da ABINEE (2006) e consulta de dados estatísticos disponíveis no site <http://www.abinee.org.br/abinee/decon/decon12.htm>. (conforme acesso realizado em 29/05/2007).

Essa forte dependência dos componentes semicondutores importados é decorrente da ausência de empresas presentes nos diversos segmentos da cadeia produtiva de *chips* no Brasil, a qual sempre esteve fortemente ligada à trajetória de desenvolvimento da microeletrônica no país. Essa situação se estabeleceu a partir de meados dos anos 90, com a desarticulação das políticas e dos esforços para o desenvolvimento setorial, resultando em um restrito grupo de empresas atuando em alguns segmentos específicos a indústria de semicondutores¹⁶, como destaca o estudo de RIPPER FILHO (2004) considerando que o “fim” da indústria de semicondutores no Brasil ocorreu basicamente em duas fases: uma primeira, com a criação da Zona Franca de Manaus, implicando a transferência da produção de bens eletrônicos de consumo com suas respectivas tecnologias e insumos estrangeiros; uma segunda, mais intensa e dramática, com a abertura para das importações no setor, sem restrições, realizada pelo governo Collor, em 1990.

A partir disso, diante do corte repentino dos incentivos do governo, grande parte dos esforços realizados, como a construção de competências e os mecanismos de transferência tecnológica, foram interrompidos, dado que a estratégia das empresas era fortemente dependente desses incentivos proporcionados pela lei de informática. Atualmente as empresas que trabalham com componentes semicondutores no mercado brasileiro formam um grupo de sequer uma dezena de empresas, em sua maioria multinacionais que realizam apenas montagem de *kits*, atividades de empacotamento e testes ou outras etapas parciais da cadeia produtiva mercado local demonstrando o caráter incipiente dessa indústria no país em termos de atividades de manufatura de semicondutores.¹⁷

4.2. Capacidades Científicas e Tecnológicas em Projetos de Semicondutores

¹⁶ Vale destacar que no fim dos anos 80 existiam 23 empresas de semicondutores no país, com uma produção local de cerca de US\$ 250 milhões, enquanto que os componentes importados eram de aproximadamente US\$ 400 milhões (BAMPI, 2004 e OLIVEIRA e MIGUEL, 2004).

¹⁷ As empresas existentes em semicondutores atualmente no Brasil são: Aegis Semicondutores, Semikron, Smart Modular Technologies, Freescale Semiconductor, Epcos, Heliodinâmica e Itáusa/Itaucom (CARVALHO VARICHIO, 2006).

Para examinar as capacidades tecnológicas existentes na indústria brasileira de *chips*, foram avaliadas as atividades e iniciativas de alguns centros de estudo e grupos de pesquisa atuantes na área, particularmente em circuitos integrados. A perspectiva adotada é de que é possível criarmos uma trajetória de aprendizado tecnológico, por meio de um processo contínuo e cumulativo, em que as empresas aprimoram suas habilidades e aperfeiçoam seus mecanismos de busca, sendo importante não só na acumulação de novos conhecimentos, como também para a consolidação da base já existente e para as possibilidades de vislumbrar novas oportunidades e para melhorar suas competências e produtos/processos ou mesmo ter acesso a novos mercados (MALERBA, 1992; BELL *et al*, 1984 e CASSIOLATO, 2004). Finalmente, vale lembrar que uma das mais importantes formas de aprendizado é sua interatividade com a estrutura institucional e econômica, o que destaca a importância da avaliação das condições em termos das capacidades tecnológicas existentes na indústria brasileira de semicondutores na área de projeto (LUNDVALL, 1992).

O mapeamento das capacidades tecnológicas existentes no Brasil foi realizado pelo governo federal, em 2002, para o lançamento do *Programa Nacional de Microeletrônica*, no qual foi destacada a atuação de vários grupos de pesquisa e centros de estudos¹⁸, sendo que maioria desses centros de pesquisa atuantes em microeletrônica, particularmente em projetos de circuitos integrados, esta presente nas universidades, como o CCS (Centro de Componentes Semicondutores) da Unicamp e o LSITEC (Laboratório de Sistemas Integráveis Tecnológicos) da POLI/USP, ou em órgãos públicos de pesquisa, como o Cenpra.

Atuando paralelamente, há instituições que trabalham de forma isolada, prestando serviços e apoio a esses grupos, como o Instituto Eldorado, que atua na qualificação e treinamento de recursos humanos, para que os mesmos possam ser absorvidos pela única *design house* presente no Brasil, a Freescale. Há ainda algumas pequenas empresas que prestam serviços para a Freescale, por meio do desenvolvimento de *softwares* que serão utilizados em seus *chips* embarcados, como a Pleiades.

A partir disso, foram selecionados esses centros como uma amostra diversificada dessas instituições e empresas para visita, principalmente com foco naquelas que continuam envolvidas na PITCE (2004) do atual governo, no intuito examinarmos as suas atividades, para que pudéssemos avaliar as capacidades tecnológicas existentes na indústria de semicondutores brasileira por meio das informações coletadas nessas entrevistas¹⁹.

A partir da análise dos dados coletados, concluímos que existem as seguintes capacidades tecnológicas nas atividades realizadas em projetos de semicondutores no Brasil:

- Atividades de *design* de circuitos integrados propriamente ditas com o projeto dos componentes segundo as suas funcionalidades específicos com a criação de bibliotecas de projetos, por exemplo,

¹⁸ Centros e grupos de pesquisa existentes: UFPE, EFEI-Itajubá, CCS/Unicamp, LME/USP, LSI/USP, Unesp, Cenpra, LNLS, INPE, UFSC, UFRGS, PUC-RS, UFSM, CEFET-PR, UEL, NCE/COPPE/UFRJ, UFES, UFMG, UNBA, UFPB e EFC (MIGUEL, 2003).

¹⁹ A metodologia de pesquisa para a avaliação das capacidades tecnológicas existentes na indústria brasileira consistiu na aplicação de um roteiro de entrevista, com questões qualitativas em uma pequena amostra de agentes que abrangia os principais grupos envolvidos na PITCE: 1.LSITEC/USP, 2. Cenpra (“Centro de Pesquisas Renato Archer), assim como centros de pesquisa que tiveram participação expressiva nas últimas iniciativas realizadas para o desenvolvimento do setor - 3. CCS/Unicamp e 4.Instituto Eldorado - além de empresas que realizam atividades de projeto de circuitos propriamente ditas, como a 5. Pleiades (*software*) e a 6. Freescale. Para um maior detalhamento do roteiro de questões dessas entrevistas (realizadas entre abril e junho de 2006) sugerimos a consulta em CARVALHO VARRICHIO (2006).

- Atividades de capacitação de recursos humanos em projetos de circuitos integrados,
- Disponibilidade de equipamentos e ferramentas para desenvolvimento de projetos e desenvolvimento de *softwares* embarcados em circuitos integrados.

Há um nível razoável de capacidades tecnológicas na área de projetos de circuitos integrados, tanto na realização de atividades de *design* propriamente ditas, como também em atividades para treinamento e capacitação de recursos humanos na área. As atividades realizadas pela filial brasileira da Freescale ilustram as competências nacionais nessa área.

A filial da Freescale no Brasil empresa realiza projetos de microcontroladores, analógicos e memórias *flash*, além ASICs voltados para o mercado mundial. Seus parâmetros de produção são informados às equipes de projeto, ou seja, as atividades de projeto do centro vão desde a especificação até a construção de uma base de dados para impressão do projeto na máscara do circuito. Com a conclusão do projeto, o mesmo é enviado para uma das *foundries* da companhia (nos EUA, no Japão ou na Europa), a qual confecciona um pequeno lote de protótipos do circuito integrado. O centro brasileiro tem importância reconhecida pela corporação pelos seus diferenciais com relação ao pessoal qualificado e experiente (que na maioria das vezes veio de outras empresas do segmento que encerraram suas atividades nos anos 90), podendo se tornar uma valiosa fonte de conhecimento tácito e capital humano para empresa. Evidência disso é que entre 1998 e 2006, mais de US\$ 70 milhões já foram investidos no Centro de Projetos da Freescale de Jaguariúna/SP²⁰. O benefício da existência do grupo de projetos no país, que hoje conta com cerca de 130 pessoas, é a criação de empregos altamente qualificados e, geralmente bem remunerados, os quais, por sua vez, ocasionam uma série de demandas indiretas na economia local por meio do efeito gerado pela renda.

Para responder às necessidades de projetistas de circuitos, há centros e instituições de pesquisa, que geralmente usufruem os benefícios da Lei de Informática, como a Instituto Eldorado e o LSITEC da USP, que conta com aproximadamente 500 pesquisadores, que desenvolvem expressivas competências na capacitação de recursos humanos para a microeletrônica. Existem ainda empresas que prestam serviços específicos para a Freescale, geralmente pequenas e médias, que realizam atividades de desenvolvimento de *softwares* embarcados nos *chips*, como a Pleiades, localizada em Campinas/SP. Tais empresas são reconhecidas como prestadoras de serviços de *design* e formam um conjunto de empresas que consta no “Programa de Aliança em *Design*” da Freescale.

Com o objetivo de suprir essas necessidades técnicas específicas, surge a atuação do Cenpra, que se caracteriza como um “centro de reposição de competências”. No instituto há cerca de 230 pesquisadores e 12 laboratórios, além de um conjunto de ferramentas para assessorar as atividades dessas pequenas empresas atuantes no segmento. Segundo dados da direção do Cenpra, estão sendo investidos cerca de US\$ 130 milhões em infra-estrutura, com expectativa de atender mais de 200 empresas no setor.

Com essa avaliação, podemos verificar que existem capacidades tecnológicas razoáveis na área de projetos de circuitos no país, em um nível que, embora não seja excepcional, é suficiente para o início do desenvolvimento de uma trajetória baseada nesse segmento. Além disso, as capacidades tecnológicas existentes na área de projetos mostram-se bastante

²⁰ No entanto, o lucro originado pelos circuitos integrados projetados no Brasil não se reflete em ganhos para a filial local em termos de faturamento já que os *chips* projetados aqui, são produzidos e faturados em outra filial da empresa e por isso não equaciona o *déficit* na balança comercial do complexo eletrônico do país.

superiores se comparadas às evidências da produção local no país já que existe uma total deficiência no lado da demanda, ou seja, de empresas que realizem atividades de manufatura de *chips* e precisem desses serviços de *design* das firmas locais.

5. Considerações Finais

O fator crucial para uma inserção internacional competitiva no segmento de *design* de semicondutores é a capacitação científica e tecnológica em projetos, com o desenvolvimento de *design houses* locais, se consolidando por isso como uma oportunidade para a indústria brasileira de *chips*. No entanto, essa trajetória de desenvolvimento se sustenta no longo prazo ou são necessários outros elementos para que exista um “círculo virtuoso” com inúmeras possibilidades de crescimento na indústria de *chips* brasileira?

A experiência de Taiwan nos mostra que tal trajetória é uma oportunidade para a entrada na indústria de semicondutores, mas não sustenta o desenvolvimento da indústria por um longo período. Podemos auferir que o segmento de *design* foi a forma de entrada de Taiwan na indústria de *chips*, mas a sua competitividade e expansão considerável foi atingida por meio da integração entre o segmento de *design* e os demais da sua cadeia produtiva, particularmente das atividades de manufatura. Essa interação e integração com resultados positivos foi consequência dos esforços em capacitação científica e tecnológica em projetos juntamente com a mobilização permanente para a capacitação em outros elementos fundamentais para o desenvolvimento industrial do país em semicondutores (como a formação de recursos humanos, processos de transferência de tecnologia, políticas industriais estruturadas e contínuas, incentivos para a atração de investimento direto estrangeiro) propiciando assim um “ambiente favorável” capaz de sustentar a competitividade da indústria a longo prazo.

Esse fato mostra que a experiência brasileira pode adotar uma trajetória “semelhante” segundo as condições de mercado vigentes, ou seja, as condições de mercado da indústria mundial de semicondutores nos anos 80 são muito peculiares e distintas das evidenciadas na atualidade do setor, pois as barreiras à entrada são cada vez maiores e os instrumentos de política disponíveis para promover desenvolvimento industrial tem um alcance cada vez mais limitado.

Nesta perspectiva, embora o Brasil possa iniciar sua trajetória de desenvolvimento por meio da entrada no setor por meio das companhias de projetos, a indústria não sustentará seu desenvolvimento se permanecer restrita nesse setor, por vários elementos: 1. a realização somente dos projetos de circuitos no Brasil não equaciona o problema do *déficit* na balança comercial; 2. é necessário a criação de um “ambiente favorável”, que permita uma interação entre as *foundries* e as *design houses*, já que existirá um permanente fluxo de conhecimento (principalmente tácito) e de pessoas, com oportunidades de aprendizado tecnológico; 3. existem resultados positivos do desenvolvimento conjunto entre o *hardware* e o *software*, com o relacionamento próximo entre as empresas de manufatura e as de projeto, dada a crescente utilização de sistemas embarcados, 4. para que haja crescimento sustentado e competitividade do segmento de projetos é construtivo que exista contato entre essas empresas e os mercados finais usuários dos *chips*.

Em função disso, consideramos que, para a elaboração de uma estratégia de desenvolvimento da indústria de semicondutores no Brasil é necessário um esforço muito além da capacitação científica e tecnológica somente em projetos dos circuitos. A capacitação em projetos é apenas um dos requisitos para promover condições favoráveis ao desenvolvimento industrial do setor, oferecendo oportunidades para a entrada do país no mercado mundial de projetos de semicondutores.

Portanto, uma estratégia de desenvolvimento industrial em semicondutores requer um esforço muito mais amplo em termos de capacitação científica e tecnológica, ou seja, embora existam capacidades tecnológicas em projetos na indústria brasileira de semicondutores, essa não é uma condição suficiente para sustentar o desenvolvimento da indústria local. São necessários esforços também para a capacitação científica e tecnológica do país em outros elementos que possam propiciar um “ambiente favorável” ao desenvolvimento não só das atividades de projeto mas também das atividades de manufatura, para que haja essa maior integração entre as empresas da cadeia produtiva, segundo as demandas existentes no mercado local, criando assim um “círculo virtuoso” capaz de sustentar o desenvolvimento industrial brasileiro em semicondutores no longo prazo.

Portanto, a capacitação científica e tecnológica restrita ao segmento de projetos mostra-se como uma trajetória de desenvolvimento limitada. À luz das lições da experiência de Taiwan, o foco dos esforços no desenvolvimento da indústria brasileira de semicondutores devem concentrar-se na geração de capacidades científicas e tecnológicas fundamentais, que podem propiciar um “ambiente favorável” que sustente o desenvolvimento industrial a longo prazo no Brasil.

6. Referências bibliográficas

AMATO NETO, J.; CARVALHO, M.M.; FLEURY, A.; GARCIA, R.C. e PESSOA, M. Análise das Condições de Desenvolvimento da Indústria Brasileira de Semicondutores: In: **Workshop: Redes de cooperação e gestão do conhecimento**, DEP/USP, SP, 2002. Disponível em <http://www.prd.usp.br/redecoo> (conforme acesso realizado em junho/2004).

AMATO NETO, J.; FONTES, C.B.V, e VALILLO, R. Possibilidades de inserção da indústria brasileira de semicondutores no complexo eletrônico global. **Relatório Pré-Campo**, Diretório da Pesquisa Privada, FINEP, 2003, mimeo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (ABINEE). **Panorama Econômico e Desempenho setorial**, 2006. Disponível em www.abinee.org.br/informac/arquivos/pan2006.pdf (conforme acesso realizado em julho/2006).

BAMPI, S. Tendências tecnológicas e oportunidades para a indústria de componentes semicondutores no Brasil”. In: MDIC e IEL/NC (org.). **O futuro da indústria de semicondutores**, Brasília/DF, 2004. Disponível em http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/sti/publicacoes/futAmaDilOportunidades/ediespeciais_14.php (conforme acesso realizado em janeiro/2006).

BELL, M., ROSS-LARSEN, B. e WESTPHAL, L.E. Assessing the performance of infant industries, **Journal of Development Economics**, vol.16, no. 1/2, p.101-128, 1984.

CARVALHO VARRICHIO, P. Uma perspectiva para a indústria de semicondutores no Brasil: o desenvolvimento das design houses. **Dissertação (mestrado)**, Instituto de Geociências, Unicamp, Campinas/SP, 2006.

CASSIOLATO, J. Interação, aprendizado e cooperação tecnológica. **Serie Contribuciones**, In: Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología RICYT, agosto/2004. Disponível em <http://www.ricyt.edu.ar/interior> (conforme acesso realizado em janeiro/2005).

CIMOLLI, M.; HOLLAND, M.; PORCILE, G., PRIME, A. e VERGANA, S. Growth, Structural Change and Technological Capabilities. Latin America in a Comparative Perspective, **Working Paper Series**, Laboratory of Economics and Management Sant'Anna, School of Advanced Studies, 2006. Disponível em <http://www.lem.sssup.it/WPLem/files/2006-11.pdf> (conforme acesso realizado em julho/2006).

DAHMEN, D. Semiconductors. In: Wellenius, B., Miller, A e Dahman, C (org.). **Developing the electronics industry**, World Bank Symposium, EUA, 1993.

ERNST, D. Pathways to innovation in the global network economy: Asian Upgrading Strategies in the Electronics Industry. **East-West Center Working Papers**, , no.58, 2003. Disponível em <http://www.eastwestcenter.org/stored/pdfs/ECONwp058.pdf> (conforme acesso realizado em janeiro/2006).

HSU, J. The dynamic institutionalism of Taiwan's late-industrial district in the globalization process. **Annual Meeting of the Association of American Geographers**, New York City, EUA, 2001. Disponível em <http://www.geog.ntu.edu.tw/Introduction/member/teacher/jinnyuh/papers/The%20Dynamic%20Institutionalism%20of%20Taiwan's%20Late-industrial%20District.PDF> (conforme acesso realizado em maio/2005)

IEDI (Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial).A Difícil Tarefa de Atrair Investimentos na Indústria de Semicondutores, **Carta IEDI**, no.244, publicado em 26/01/2007. Disponível em <http://www.iedi.org.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=2564&sid=20> (conforme acesso realizado em 25/05/2007).

LO, T-H., LIOU, S. e YUAN, B. Organizational innovation and entrepreneurship: the role of the national laboratories in promoting industrial development, **International Journal of Technology Management**, vol. 30, No.1/2 p. 67-84, 2005.

LUNDEVALL, B.A. **National Systems of Innovation – Towards a theory of innovation and interactive learning**. London, Pinter Publishers, 1992.

MACHER, J. T. e MOWERY D. C. Vertical Specialization and Industry Structure in High Technology Industries. **Advances in Strategic Management**, vol.21, p.317-56, 2004.

MALERBA, F. Learning by firms and incremental technological change, **The Economic Journal**, vol.102, no. 413, p.845-859, 1992.

MATHEWS, J.A Silicon Valley of the east: creating Taiwan's semiconductor industry". **California Management Review**, Berkeley, 1997. Disponível em <http://www.gsm.mq.edu.au/facultyhome/john.mathews/docs/CMR-UMI-1997-EastSiliconValley-Taiwan.doc> (conforme acesso realizado em abril/2005).

MIGUEL, H. O. *Semicondutores – Panorama Brasil*. In: ABINEE TEC, 2003. Disponível em <http://www.tec.abinee.org.br/2003/arquivos/s37.pdf> (conforme acesso realizado em julho/2006).

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **Diretrizes da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior**, 2003. Disponível em <http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivo/ascom/apresentacoes/Diretrizes.pdf> (conforme acesso realizado em julho/2006).

OLIVEIRA E. M. e MIGUEL, H. A Política Industrial (e Tecnológica) para o setor de semicondutores. In: MDIC/STI e IEL/NC (org.). **O futuro da indústria de semicondutores**, Brasília/DF, 2004. Disponível em http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/sti/publicacoes/futAmaDilOportunidades/ediespeciais_14.php (conforme acesso realizado em março/2006).

RIPPER FILHO, J. E. História da Microeletrônica no Brasil”. In: MDIC/STI e IEL/NC (org.). **O futuro da indústria de semicondutores**, Brasília/DF, 2004. Disponível em www.desenvolvimento.gov.br/arquivo/publicacoes/sti/indbraopodesafios/coletanea/semicondutores/ripper.pdf (conforme acesso realizado em julho/2006).

SWART, J. e VAN NOIJE, W. A Política Industrial e tecnológica de semicondutores, **Jornal da Unicamp**, maio/2006. Disponível em http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/jornalPDF/ju325pg02.pdf (conforme acesso realizado em julho/2006).