



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Instituto de Economia

TRANSBORDAMENTOS TECNOLÓGICOS E POLÍTICA INDUSTRIAL

Rogério Vicentim Ferraz de Oliveira

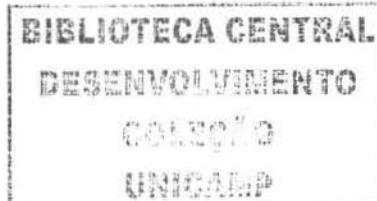
Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Economia da UNICAMP para obtenção do título de Mestre em Ciências Econômicas sob a orientação do Prof. Dr. Wilson Suzigan.

Este exemplar corresponde ao original da dissertação defendida por Rogério Vicentim Ferraz de Oliveira em 06/05/2005 e orientado pelo Prof. Dr. Wilson Suzigan.

CPG, 06/05/2005

A handwritten signature in cursive script, appearing to read "W. Suzigan", written over a horizontal line.

Campinas, 2005



UNIDADE	<u>de</u>
Nº CHAMADA	<u>TIUNICAMP</u> <u>0L4t</u>
V	EX
TOMBO BCI	<u>65714</u>
PROC.	<u>16-86-05</u>
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	<u>11,00</u>
DATA	<u>21.9.05</u>
Nº CPD	

Bibid 364868

ii

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO
CENTRO DE DOCUMENTAÇÃO DO INSTITUTO DE ECONOMIA**

OL4t

Oliveira, Rogerio Vicentin Ferraz de.

Transbordamentos tecnologicos e politica industrial / Rogerio
Vicentin Ferraz de Oliveira. -- Campinas, SP : [s.n.], 2005.

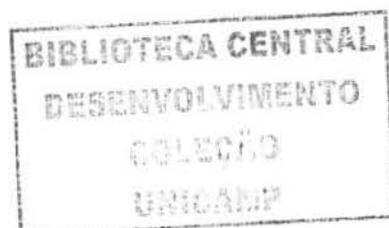
Orientador: Wilson Suzigan.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campi-
nas. Instituto de Economia.

1. Transferencia de tecnologia. 2. Politica industrial. 3.
Inovações tecnologicas. I. Suzigan, Wilson. II. Universidade
Estadual de Campinas. Instituto de Economia. III. Titulo.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1	
ANÁLISE ECONÔMICA DOS TRANSBORDAMENTOS TECNOLÓGICOS	5
1.1. Externalidades da Pesquisa & Desenvolvimento	7
1.2. Taxas de Retorno da Pesquisa & Desenvolvimento	12
1.3. Mecanismos de Apropriação	20
1.3. Relações entre as Diretrizes Estratégicas Convencionais das Agências de Fomento e o Conceito de Transbordamento Tecnológico	23
CAPÍTULO 2	
MENSURAÇÃO DOS TRANSBORDAMENTOS TECNOLÓGICOS: REVISÃO DA LITERATURA	27
2.1. Testes para os Transbordamentos de Mercado	28
2.2. Testes para os Transbordamentos de Conhecimento	32
2.3. Sumário das Estimativas de Transbordamentos Tecnológicos	35
CAPÍTULO 3	
QUANTIFICAÇÃO DOS TRANSBORDAMENTOS DE P&D: APLICAÇÃO PARA O CASO BRASILEIRO	36
3.1. A Proximidade Tecnológica entre Empresas	38
3.2. Agrupamento de Empresas pela Proximidade Tecnológica	42
3.3. Evidências sobre Transbordamentos e Oportunidades Tecnológicas	46
CAPÍTULO 4	
TRANSBORDAMENTOS TECNOLÓGICOS E POLÍTICA INDUSTRIAL	53
4.1. Considerações Preliminares: Implicações Políticas	53
4.2. Incorporando Considerações sobre Transbordamentos Tecnológicos na Política Industrial	55
CONCLUSÃO	61
ANEXOS	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69



200521203

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

FIGURAS

Figura 1 - Retorno privado e social da P&D: transbordamento de mercado	13
Figura 2 – Retorno privado e social da P&D: transbordamento de mercado e de conhecimentos	16
Figura 3 – Retorno privado e social da P&D: interação entre os transbordamentos de mercado e de conhecimento	18
Figura 4 – Relações entre retorno privado, retorno social e hiato de transbordamento	57

TABELAS

Tabela 1 – Taxas de retorno social e privado da P&D de estudos selecionados	36
Tabela 2 – Exemplo de proximidades entre empresas	41
Tabela 3 – Distribuição da amostra de empresas segundo a classificação industrial e o <i>cluster</i> tecnológico	45
Tabela 4 – Resultados da regressão para o indicador de inovação	50

RESUMO

Os dados sobre patentes depositadas no Brasil são usados para caracterizar a posição tecnológica de empresas manufatureiras. *Clusters* de firmas que possuem relações tecnológicas são identificados e comparados com a classificação industrial padrão (CNAE). Esta estratégia de pesquisa permite demonstrar que a produtividade da P&D varia sistematicamente entre estes *clusters*, sendo estas variações relacionadas com o conceito de “oportunidade tecnológica”. Além disso, também procura-se demonstrar que a produtividade da P&D de uma empresa é afetada pela P&D de seus “vizinhos” tecnológicos. Isto pode ser uma evidência da presença de transbordamentos tecnológicos entre empresas. Por fim, discute-se as implicações para a política industrial e tecnológica.

ABSTRACT

The patent data issued in Brazil are used to characterize the technological position of manufacturing firms. Clusters of technologically related firms are identified and compared to standard industry classification (CNAE). This approach makes possible to show that the productivity of R&D varies systematically among these clusters, and such variation is related to the concept of “technological opportunity”. In addition, it is shown that the productivity of a firm’s R&D is affected by the R&D of its technological “neighbors”, which can be taken as evidence of spillovers among firms. Finally, the implications for industrial and technology policy are discussed.

INTRODUÇÃO

O conhecimento tecnológico proporcionado pela Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) constitui um dos principais determinantes da elevação dos padrões de vida a longo prazo. A introdução de novos métodos de produção que aumentem a produtividade (inovação de processo) e o desenvolvimento de novos bens ou serviços que incrementem a qualidade do consumo (inovação de produto) são as principais manifestações do avanço tecnológico. Com efeito, devido às dificuldades de apropriação do conhecimento, o valor social da inovação geralmente é mais elevado que os benefícios privados auferidos pelo agente inovador. Esta diferença entre a taxa de retorno social e a taxa de retorno privado das firmas inovadoras é denominada externalidade positiva ou transbordamento tecnológico (*spillover*). Como resultado, as firmas inovadoras podem investir menos em P&D do que seria socialmente desejável¹.

Esta falha de mercado criada pelos transbordamentos tecnológicos consiste numa das justificativas centrais para as políticas públicas desenhadas para estimular a P&D. É amplamente reconhecida a necessidade de apoio governamental à pesquisa básica ou fundamental. Além disso, existem outros instrumentos de política tecnológica destinados a incentivar os investimentos em P&D, tais como o crédito tributário e o sistema de patentes. Não obstante, estes mecanismos sozinhos não são suficientes seja para alterar a composição dos gastos em P&D ou para resolver o problema do subinvestimento. Neste sentido, a política tecnológica também pode melhorar os resultados do mercado seja através de programas para uma área tecnológica específica, seja por meio do apoio às empresas na fase pré-comercial dos projetos (pesquisa aplicada).

O papel da política tecnológica, porém, não é o de substituir o julgamento privado pela decisão governamental, mas sim corrigir um problema real e significativo: o subinvestimento em pesquisa básica e aplicada resultante da divergência entre as taxas de retorno social e privado destas atividades. Deste ponto de vista, a compreensão mais aprofundada do

¹ De fato, devido à presença de externalidades, alguns projetos justificáveis do ponto de vista da sociedade como um todo correm o risco de nunca saírem do papel, e outros de serem assumidos de uma forma mais lenta ou em uma escala menor do que seria socialmente desejável.

processo de transbordamento tecnológico poderia facilitar a seleção de projetos pelas agências públicas de fomento ao desenvolvimento tecnológico a fim de maximizar a taxa de retorno social destes gastos governamentais. Além disso, admitindo-se que a justificativa política para as agências de fomento seja orientada no sentido de geração de transbordamentos tecnológicos, qualquer tentativa de avaliação do desempenho de sua carteira deveria ser capaz de medir tais *spillovers*.

Este trabalho pretende explorar o conhecimento econômico sobre o fenômeno dos *spillovers* de P&D, e destacar a relevância deste conhecimento sobretudo para a *política tecnológica*. Adicionalmente, procura-se quantificar a importância deste processo no contexto brasileiro através do exame dos efeitos dos esforços de pesquisas realizadas por outras empresas sobre os resultados da pesquisa de uma empresa em particular.

Aqui, vale uma ressalva: o transbordamento tecnológico não é o único fator que pode acarretar baixo financiamento aos esforços de pesquisas socialmente desejáveis. Em particular, imperfeições no mercado de capitais fazem com que o risco e os fatores financeiros também provoquem investimentos em P&D aquém do ótimo social. Este trabalho não proporciona uma análise explícita destes outros fatores, apesar de considerar a interação destes fatores com o fenômeno dos transbordamentos, e as consequências desta relação para os programas públicos de fomento.

O próximo capítulo irá discutir em detalhes a estrutura analítica do conceito de transbordamento tecnológico. Precisamente, serão apresentadas as principais fontes de transbordamentos, importantes não só para o melhor entendimento da análise, mas também para dar maior transparência ao arcabouço teórico que dá suporte à investigação empírica do fenômeno. Destaca-se, também, a discussão sobre os mecanismos de apropriação dos resultados da inovação e suas implicações sobre a magnitude e localização das externalidades da P&D. Em

paralelo, procura-se relacionar a metodologia de análise dos transbordamentos às diretrizes estratégicas das agências de fomento ao desenvolvimento tecnológico².

O Capítulo 2 dedica-se a apresentar uma resenha dos mais importantes estudos empíricos referentes ao fenômeno dos transbordamentos. Há, basicamente, dois tipos de abordagens: estudos de casos e econométricos. Os estudos de casos, em geral, procuram estimar a taxa de retorno social de projetos de pesquisa em particular através da avaliação extensiva dos efeitos econômicos das inovações resultantes. As informações detalhadas propiciadas por esta metodologia ampliam a compreensão dos mecanismos pelos quais o processo de transbordamento de desdobra nos mercados. Entretanto, possuem a limitação de não serem amplamente representativos. Já os estudos econométricos, em sua maioria, utilizam-se da função de produção para tentar quantificar a externalidade a partir da inclusão de uma variável para o conhecimento extra-firma na função de uma empresa, indústria ou país.

Seguindo a abordagem econométrica, será apresentada uma análise empírica da existência de *spillovers* para o caso brasileiro, que será o objeto do capítulo 3. A hipótese de trabalho consiste na proposição de que se os transbordamentos tecnológicos são relevantes, a produtividade da P&D de uma firma deve estar sistematicamente relacionada à quantidade de P&D realizada por empresas “na vizinhança”. Para isto, faz-se necessária a construção de uma medida de “proximidade” entre as empresas, seja em termos de similaridade tecnológica, proximidade geográfica ou de acordo com a natureza das relações econômicas envolvidas (por exemplo, fornecedor-produtor)³.

Cabe frisar que existem, pelo menos, dois conceitos diferentes de transbordamento por trás destas medidas. Os transbordamentos podem ocorrer porque as forças de mercado do produto ou processo inovador geram benefícios para os consumidores e as firmas não-inovadoras. De fato, inovações de processo reduzem os custos e, portanto, os preços, em benefício dos setores a jusante. Similarmente, bens e serviços novos ou aprimorados cujos preços

² A título de exemplo, serão consideradas, para o caso brasileiro, as “Políticas Operacionais” da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) – agência de fomento do Ministério da Ciência e Tecnologia.

³ Cabe destacar que este trabalho limita-se a captar a dimensão tecnológica, e intranacional, dos transbordamentos. Em um modelo mais geral, poder-se-ia admitir que os fluxos de transbordamentos dependessem da proximidade tecnológica e geográfica, seja intra ou internacional.

não refletem inteiramente suas características superiores denotam o mesmo tipo de transbordamento. Na literatura, este efeito é conhecido como externalidades de mercado ou pecuniárias. Outro tipo de transbordamento ocorre quando o conhecimento e as idéias geradas por um agente são utilizados por outros sem a devida compensação. O(s) beneficiário(s) desta espécie de externalidade, conhecida como transbordamento de conhecimento, pode(m) utilizar o novo conhecimento para copiar ou imitar o agente inovador, ou, ainda, usar as idéias como insumo no processo de pesquisa que levará a novas tecnologias.

Em que pese o fato de ser difícil distinguir empiricamente estes dois conceitos, dependendo da natureza da pesquisa a quantificação da “proximidade” entre diferentes agentes pode envolver transbordamentos de mercado, de conhecimento, ou ambos. Seguindo metodologia proposta por Jaffe (1986), a análise econométrica desenvolvida no capítulo 3 procura captar o efeito dos transbordamentos de conhecimento. Para o teste, ainda não aplicado no Brasil, são utilizados os dados de patentes depositadas, no INPI, por 172 empresas manufatureiras para caracterizar a “proximidade tecnológica” entre as mesmas a partir do grau de sobreposição da distribuição das patentes de acordo com a classificação patentária. Desta forma, é possível construir uma medida do *pool* de transbordamentos para cada empresa, como a somatória dos gastos em P&D realizados pelas outras empresas ponderados por sua proximidade em relação à firma potencialmente receptora. As informações sobre os gastos em P&D por empresa (microdados) são originárias da PINTEC-Pesquisa Industrial: Inovação Tecnológica (IBGE, 2002).

O capítulo 4 irá sugerir alternativas para a incorporação da análise do processo de transbordamento na estrutura decisória das agências de fomento, além de registrar a necessidade de coleta de dados, construção de indicadores e esforços de pesquisa para a quantificação dos impactos dos transbordamentos, incrementando, assim, a capacidade das agências de fomento em inferir a probabilidade da existência de *spillovers* nos projetos propostos.

CAPÍTULO 1. ANÁLISE ECONÔMICA DOS TRANSBORDAMENTOS TECNOLÓGICOS

Os investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) contribuem para a elevação dos padrões de vida de uma sociedade. O conhecimento tecnológico proporcionado pelas atividades de P&D abre caminho para a introdução de novos bens e serviços desenvolvidos através de meios de produção relativamente mais eficientes. Historicamente, a análise econômica devotou pouca atenção à importância do processo de P&D. As teorias do crescimento econômico tratavam a mudança tecnológica como um processo exógeno, enfatizando apenas a acumulação de capital físico. Recentemente, a abordagem começou a se alterar, com a nova teoria do crescimento incorporando e destacando a relevância dos investimentos em P&D e as inovações resultantes como uma das principais fontes de ganhos de produtividade.

Uma característica distintiva dos investimentos em P&D consiste no fato de que as empresas que assumem tais atividades são incapazes de excluir, plenamente, a possibilidade de que outras se beneficiem, sem custos, de seus esforços de pesquisa. O conceito de **transbordamento tecnológico** é utilizado para destacar a idéia de que alguns dos benefícios econômicos das atividades de P&D são percebidos por outros agentes econômicos além daqueles que realizaram a pesquisa. Consumidores de produtos mais baratos e de melhor qualidade, firmas rivais que imitam uma inovação de sucesso, e firmas cuja própria pesquisa se beneficia da observação dos erros e acertos de outros esforços de pesquisa são os principais beneficiados por estes transbordamentos.

Existem vários exemplos. Atualmente, o laser e os transistores têm um grande número de aplicações. Os inventores do laser provavelmente não tinham idéia de que ele poderia eventualmente ser utilizado para remover cataratas ou para tocar músicas em um CD *player*. Os cientistas que desenvolveram os transistores podem não ter imaginado que sua invenção hoje em dia seria utilizada em rádios, computadores, espaçonaves e outros inúmeros mecanismos eletrônicos. Em ambos os casos, mesmo que os inventores tivessem conjecturado tais aplicações,

difícilmente poderiam receber, hoje em dia, algum benefício pecuniário adicional pelo grande avanço sócio-econômico proporcionado pelas suas idéias e criações.

A análise econômica convencional postula que os agentes econômicos buscam maximizar seus próprios interesses. No contexto da P&D, isto implica que as empresas tomam decisões acerca do nível e direção dos seus esforços de P&D pautadas pela maximização dos lucros futuros esperados. Ao decidir sobre a escolha de diferentes linhas de pesquisa, ou sobre os recursos devotados a um projeto em particular, as empresas procuram equiparar, grosso modo, o custo da P&D com os rendimentos futuros que o esforço pode gerar, levando-se em conta a tremenda incerteza tanto acerca dos custos quanto dos benefícios.

Devido à presença dos transbordamentos, existem benefícios que são gerados para a sociedade em geral quando a empresa assume o projeto de pesquisa (ou aumenta a margem de recursos devotados aos projetos em execução) que são ignorados em seu cálculo privado de custos e benefícios. A taxa de retorno social da P&D geralmente excederá a taxa de retorno privado⁴. Desde que as empresas tomam suas decisões baseadas somente na taxa de retorno privado, elas podem deixar de assumir alguns projetos que são socialmente desejáveis, ou, geralmente, aplicar um volume de recursos aos projetos menor do que seria desejável do ponto de vista da sociedade como um todo. Conceitualmente, diz-se que há uma “falha de mercado” com respeito à P&D que resulta do fato das forças de mercado alocarem uma quantidade menor dos recursos gerais da sociedade à P&D do que seria desejável. A falha de mercado criada pelos transbordamentos tecnológicos consiste numa das justificativas centrais para as políticas públicas desenhadas para encorajar a P&D.

Os transbordamentos tecnológicos da P&D são um exemplo de **externalidade positiva**. Outros exemplos de atividades que geram externalidades positivas (e, portanto, são estreitamente assumidas pelo sistema de mercado) incluem a remoção rápida de lixo residencial, imunizações e treinamento de mão-de-obra. O conceito de externalidade positiva está amplamente relacionado ao conceito de **bens públicos**. No limite, os benefícios de uma atividade

⁴ Os resultados de análises empíricas sobre a magnitude do hiato entre as taxas de retorno social e privado serão discutidos no Capítulo 2.

podem ser tão difusos que nenhum indivíduo ou firma estaria disposto a assumi-la isoladamente, tal como a defesa nacional. Da mesma forma, em muitos casos os investimentos em P&D têm a peculiaridade de não serem excludíveis (pelo menos não inteiramente). Isto é, os proprietários da informação tecnológica freqüentemente encontram dificuldade para impedir que outros façam uso não autorizado de seu conhecimento, pelo menos em algumas aplicações. Assim, as atividades de P&D envolvem problemas de apropriabilidade. A apropriação imperfeita implica que alguma forma de externalidade ou transbordamento acompanha o desenvolvimento de novas tecnologias.

Este capítulo examina em detalhes a estrutura analítica do conceito de transbordamento tecnológico. Na próxima seção, são apresentadas as principais fontes de transbordamentos, importantes não só para o melhor entendimento da análise, mas também para dar maior transparência ao arcabouço teórico utilizado na investigação empírica do fenômeno. Destaca-se, também, a discussão sobre os mecanismos de apropriabilidade dos resultados da inovação e suas implicações sobre a magnitude e localização das externalidades da P&D.

1.1. Externalidades da Pesquisa & Desenvolvimento

A literatura econômica tem demonstrado que as atividades de P&D e as inovações tecnológicas geram amplos benefícios para a sociedade como um todo. Vários estudos apontam que enquanto para as firmas os retornos dos gastos privados com P&D possam ser elevados, o retorno para a sociedade pode ser ainda maior na medida em que estas novas idéias sejam aplicadas em áreas além daquelas que o inovador inicialmente imaginou. O efeito de transbordamento (ou *spillover*) significa que a firma ou inovador original realiza apenas uma fração dos retornos econômicos de seus esforços de pesquisa; isto é, a inovação gera benefícios para outros pelos quais o inventor original não é plenamente compensado.

Estes transbordamentos podem ocorrer através de diferentes canais. Analiticamente, considera-se útil distinguir alguns mecanismos pelos quais a P&D possa gerar

spillovers: “transbordamentos de conhecimento” (*knowledge spillovers*), “transbordamentos de mercado” (*market spillovers*) e “transbordamentos de rede” (*network spillovers*) (Jaffe, 1998). No sentido de refletir sobre as implicações dos transbordamentos tecnológicos para as agências de fomento, é importante considerar cada um destes separadamente, para, então, enfatizar que eles também interagem criando sinergias.

Os **transbordamentos de mercado** ocorrem porque as forças de mercado do produto ou processo inovador geram benefícios para os consumidores e as firmas não inovadoras. A partir do momento em que a empresa cria um novo produto, ou reduz o custo de produção para os produtos existentes, o funcionamento do mercado tende a fazer com que alguns benefícios desde modo criados sejam transmitidos aos usuários. Uma indústria, neste sentido, pode beneficiar-se da pesquisa realizada por outra empresa na medida em que os preços de mercado de seus insumos não reflitam completamente o valor das inovações. A firma inovadora, portanto, não se apropria de todos os ganhos sociais de sua invenção a menos que ela possa discriminar perfeitamente o preço para os agentes a jusante.

As principais conseqüências da mudança tecnológica consistem na elevação da produtividade e da qualidade do consumo. Observe-se, em primeiro lugar, a introdução de um produto novo ou aprimorado. Presume-se que uma firma que comercialize um novo medicamento, por exemplo, impute um preço mais elevado do que as formulações tradicionais existentes. Todavia, mesmo que se estabeleça alguma forma de proteção legal ou comercial, é provável que a competição no mercado faça com que a inovação seja negociada a um preço que não apropria totalmente a superioridade do novo produto em comparação com os anteriormente existentes. Como resultante, os consumidores estariam numa situação mais vantajosa com a introdução do novo produto. Esta elevação no bem-estar dos consumidores pode ser considerado um benefício social do novo produto não apropriado pelo inovador⁵ (Jaffe, 1998). Sob o mesmo ponto de vista, caso a empresa consiga reduzir os custos de produção através dos esforços de

⁵ Em Economia, usa-se o termo “excedente do consumidor” para descrever o valor que o consumidor estaria disposto a pagar menos o preço efetivamente pago. Se o preço do produto cai, os consumidores auferem um excedente mais elevado. Se a qualidade do produto aumenta, mas o preço não se eleva proporcionalmente, existe um incremento similar no excedente do consumidor. Assim, o conceito de transbordamento de mercado equivale a este montante mais elevado do excedente do consumidor.

P&D, em geral, pode-se presumir que ela acabará por reduzir seu preço de venda. Novamente, os consumidores estariam em uma melhor posição, e os benefícios gerados não seriam completamente capturados pelo inovador.

Mas estes não são os verdadeiros **transbordamentos de conhecimento**. Outra característica mais interessante das externalidades da P&D é a que se refere ao efeito das descobertas ou invenções sobre a produtividade dos esforços de pesquisa de outros agentes (Griliches, 1979). O conhecimento gerado pelo executor da P&D pode ser utilizado por outros grupos de pesquisa sem nenhuma compensação pecuniária, ou mesmo com uma indenização inferior ao valor da informação. A existência de programas de pesquisa tecnologicamente relacionados de outras empresas pode permitir que uma firma alcance resultados utilizando-se de menos recursos próprios, ou seja, reduzindo os custos de aprendizagem e inovação⁶. O(s) receptor(es) do transbordamento pode usar este novo conhecimento para imitar ou copiar produtos ou processos do inovador, ou ainda pode utilizá-lo como insumo no processo de pesquisa levando a outras novas tecnologias (Jaffe, 1998).

Diferentemente dos transbordamentos de mercado, trata-se de uma externalidade que não está necessariamente incorporada em um bem ou serviço em particular. Da mesma forma, não implica uma transação de mercado como a compra de insumos (Griliches, 1979). As indústrias de equipamentos fotográficos e de instrumentos científicos podem não realizar muitas compras entre si, porém, de certa maneira, trabalham com materiais similares e, portanto, podem beneficiar-se mutuamente das pesquisas realizadas por cada uma delas.

O produto dos investimentos privados em P&D é a tecnologia, uma forma de conhecimento. Uma característica peculiar da tecnologia consiste no fato de que o(s) criador(es) deste conhecimento freqüentemente encontram dificuldades para excluir a possibilidade de que outras empresas obtenham benefícios de seus esforços de pesquisa gratuitamente. Esta não-exclusibilidade parcial do conhecimento sugere que os investimentos em P&D podem gerar

⁶ Considera-se, neste sentido, que os transbordamentos são potencializados pela proximidade tecnológica e geográfica entre as empresas. Este trabalho não incorpora explicitamente a dimensão geográfica destas externalidades. Sobre este aspecto, consulte, por exemplo, Jaffe et al. (1993).

externalidades. Enfim, aqui admite-se que os transbordamentos de conhecimento significam que 1) as empresas possam adquirir informações criadas por outros sem pagar por isso numa transação de mercado, e 2) os criadores (ou atuais proprietários) da informação não tenham nenhum recurso efetivo, sob as leis prevaletentes, para impedir que outras empresas façam uso destas informações adquiridas.

Existem muitos mecanismos de propagação dos transbordamentos de conhecimento. Os transbordamentos de conhecimento são mais prováveis na pesquisa básica, mas eles também podem resultar da pesquisa aplicada e do desenvolvimento tecnológico⁷. Alguma informação pode ser transmitida simplesmente pela inspeção (engenharia reversa) de um bem que tenha sido produzido com a nova tecnologia, ou mesmo pela observação das ações que os inovadores implementaram para explorar seu conhecimento⁸. Em algumas circunstâncias, as informações podem ser divulgadas publicamente pelos inventores, seja em publicações científicas e/ou através das patentes. No caso das invenções protegidas pelas leis de propriedade intelectual, a sociedade requer a divulgação do novo conhecimento como contrapartida do monopólio temporário concedido à exploração comercial do invento⁹. A mobilidade de mão-de-obra altamente qualificada entre empresas representa outro veículo de difusão das informações técnicas entre as firmas inovadoras¹⁰.

Além disso, o próprio desenvolvimento comercial do conhecimento tecnológico tende a provocar o transbordamento. A exploração econômica da nova tecnologia implica a comercialização de novos bens e serviços e/ou a utilização de novos processos de produção que incorporam este conhecimento. Em geral, a comercialização contribui para revelar pelo menos alguns aspectos do novo conhecimento a outros agentes econômicos. Já que a disseminação do

⁷ Levin et al. (1987) lista uma variedade de canais pelos quais as empresas podem aprender com os esforços tecnológicos das rivais.

⁸ Por exemplo, como quando uma firma abandona uma linha de pesquisa sinalizando para as outras que tal orientação é improdutiva e, assim, as beneficiando com economias nas despesas de aprendizagem. Outra possibilidade, ainda, é a espionagem industrial.

⁹ Neste sentido, o sistema de patentes funciona como um mecanismo de incentivo à criação de novos conhecimentos, na medida em que permite aos inventores se apropriarem dos lucros da inovação, e, ao mesmo tempo, um veículo de disseminação destes novos conhecimentos, facilitando a construção de novas e diferentes aplicações.

¹⁰ Embora a lei dos segredos de negócios conceda às empresas algumas facilidades na proteção do conhecimento específico, é extremamente complicado proteger o conhecimento tácito.

conhecimento é amplamente afetada pela utilização comercial da nova tecnologia, mesmo as análises de transbordamento de conhecimento devem contemplar um entendimento dos mecanismos de mercado que governam a difusão da nova tecnologia (Adams e Jaffe, 1995).

As externalidades da P&D também podem surgir dos casos em que os resultados comerciais da adoção das inovações sejam complementares. O termo **transbordamentos de rede** é utilizado para destacar a idéia de que as externalidades podem estar presentes quando o valor comercial de uma nova tecnologia é extremamente dependente do desenvolvimento de uma série de tecnologias relacionadas (Jaffe, 1998). Estas externalidades engendram um “problema de coordenação”: se o retorno comercial do projeto de pesquisa i é dependente do sucesso de n projetos relacionados, as empresas privadas podem ter pouco interesse em assumir qualquer uma das pesquisas em particular por não estarem seguras de que as outras sejam completadas adequadamente. Por analogia, se qualquer empresa tomar a resolução de executar um projeto particular, isto gera uma externalidade positiva para todas as outras companhias, visto que eleva a probabilidade de que aquela “massa crítica” seja alcançada¹¹. Percebe-se, portanto, que na presença de transbordamentos de rede, o valor esperado de cada projeto de pesquisa é uma função crescente do número de diferentes projetos concomitantemente desenvolvidos¹².

Por exemplo, estes transbordamentos ocorrem entre as empresas fabricantes de *software* de aplicação para utilização junto a uma nova plataforma ou sistema operacional. Neste caso, se uma empresa desenvolve um novo aplicativo específico, provavelmente só conseguirá comercializá-lo se vários agentes elaborarem suficientemente outros programas de modo que a plataforma por si mesma seja atrativa e amplamente utilizada. No entanto, cabe ressaltar que estes transbordamentos verificam-se apenas nos casos em que a firma seja incapaz de desenvolver individualmente, ou através de parcerias, todas as tecnologias complementares requeridas e, portanto, internalizar a externalidade de rede. Por conta disso, pode-se presumir que a magnitude dos transbordamentos de rede está diretamente relacionada à extensão e diversidade

¹¹ Cabe destacar que este tipo de externalidade positiva não implica necessariamente a presença de transbordamentos de conhecimentos entre as firmas.

¹² Para uma exposição detalhada, consulte Economides e Salop (1992), Katz e Shapiro (1994).

das tecnologias envolvidas na rede e inversamente relacionada às capacitações tecnológicas internas de cada firma.

A existência de externalidades de rede em certas áreas tecnológicas enseja um argumento a favor da ação governamental para lidar com o problema de coordenação, que pode, na ausência de intervenção, impedir que qualquer um dos diferentes projetos seja realizado. Empreendimentos conjuntos (*joint-ventures*) de pesquisa ou outros arranjos cooperativos similares podem ser empregados para promover uma abordagem convergente em projetos cujo sucesso comercial seja interdependente¹³. Estimulando a criação destas *joint-ventures* as agências de fomento poderiam corrigir esta falha de mercado. Ou ainda mais diretamente, por meio de políticas públicas especialmente formuladas para cooptar diversos agentes dentro de um único programa de desenvolvimento de tecnologias inter-relacionadas, assegurando que a massa crítica seja alcançada (Klette e Moen, 1999).

1.2. Taxas de Retorno da Pesquisa & Desenvolvimento

Quando uma firma investe em P&D, os resultados dos seus esforços de pesquisa podem se espalhar pela economia com aplicações além daquelas imaginadas pelo pesquisador original. Os transbordamentos tecnológicos significam que a firma inovadora realiza apenas uma fração dos retornos totais de sua invenção. Ou seja, a inovação gera benefícios para outros agentes pelos quais o pesquisador original não é plenamente recompensado. Por conseguinte, os transbordamentos acabam por provocar uma divergência entre a taxa de retorno¹⁴ privado da P&D (o retorno econômico apropriado pela firma inovadora) e a taxa de retorno social da P&D, que, além do retorno privado, inclui também os benefícios marginais auferidos por outros agentes econômicos¹⁵.

¹³ Leahy e Neary (1997) apresentam uma revisão da literatura sobre os empreendimentos conjuntos de P&D.

¹⁴ As taxas de retorno podem ser estimadas pelo cálculo dos benefícios (incluindo os benefícios futuros descontados) e dos custos da inovação.

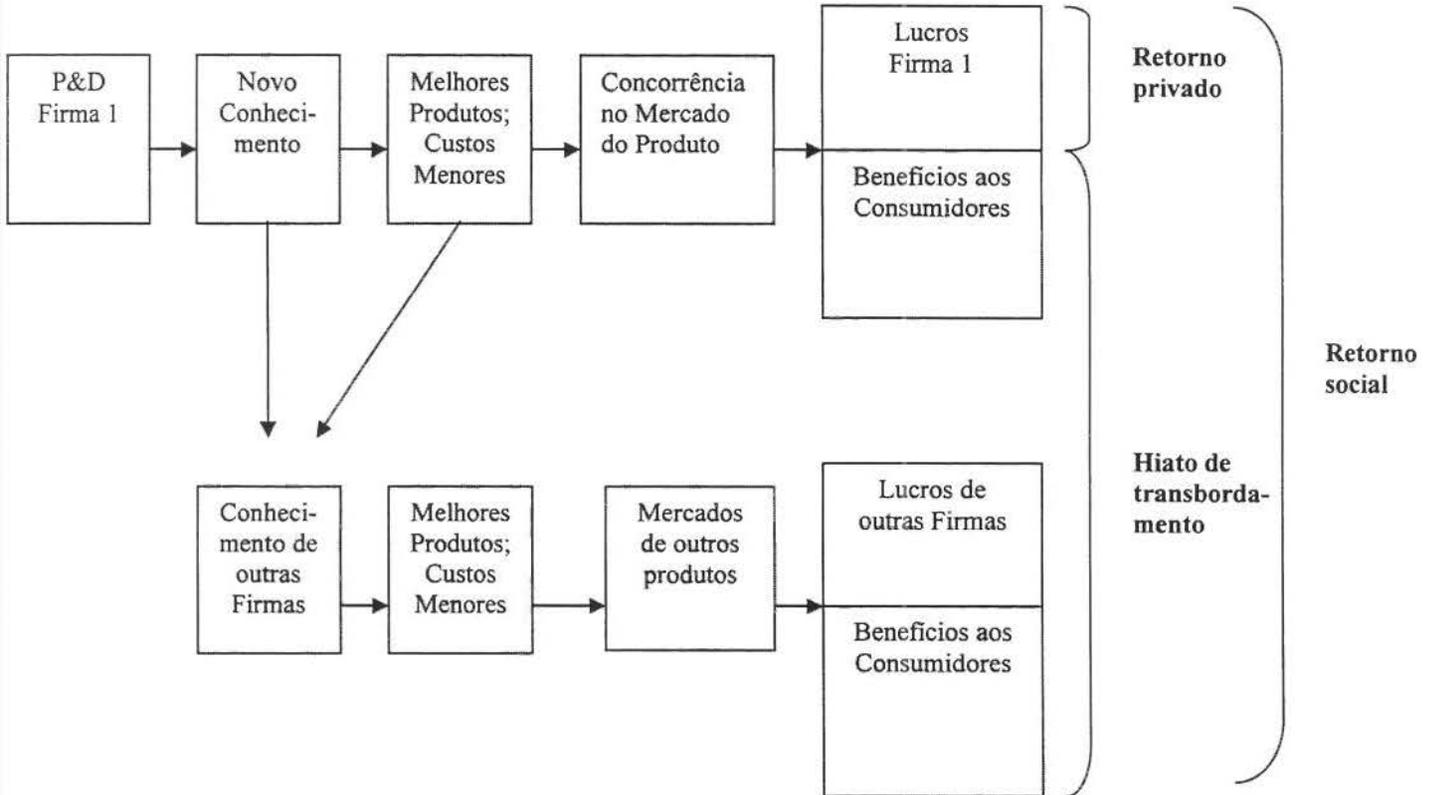
¹⁵ Este ponto não é meramente teórico. Como discutido no próximo capítulo, vários estudos demonstram que a taxa de retorno social da P&D geralmente excede a taxa de retorno privado.

Além disso, os transbordamentos de mercado ocorrem tanto com bens e serviços finais quanto com intermediários. Neste último caso, as externalidades atingem as firmas que adquirem o insumo, que, por seu turno, tendem a retransmitir uma parte destes benefícios aos seus consumidores. Por exemplo, se um fornecedor da indústria automobilística desenvolve um novo material, este poderá ser vendido às montadoras por uma quantia que não reflete inteiramente suas propriedades superiores. Em seguida, as companhias automobilísticas poderão comercializar seus produtos por um preço inferior (se o novo material vier a reduzir significativamente os custos de produção) ou, ainda, isto pode resultar em uma combinação de preço/qualidade que seja superior do ponto de vista dos consumidores. Esta cadeia de transbordamentos é capaz de prolongar-se por diversos segmentos; é possível, por exemplo, que um novo catalisador permita a produção econômica de um novo polímero que resulte em uma fibra nova e mais eficiente que seja eventualmente incorporada em um novo artigo têxtil.

Ainda com relação aos transbordamentos de mercado associados aos bens e serviços intermediários, é importante mencionar as inovações que consistem em insumos para o processo de pesquisa. Neste caso, o comprador é um outro pesquisador, que utilizará o novo dispositivo para produzir novos conhecimentos, gerando, por sua vez, mais transbordamentos. Este tipo de tecnologia, denominado “infratecnologias” ou “tecnologia industrial básica”, será discutida com maiores detalhes na seção 1.4.

A disseminação das novas informações tecnológicas pela economia amplia as externalidades da P&D. A Figura 2 ilustra o efeito adicional do transbordamento “puro” de conhecimento. Segundo Jaffe (1998), a expressão “puro” deve ser entendida como um fluxo de transbordamento que atinge empresas que não competem com a Firma 1 em seu mercado. Em outras palavras, trata-se de um transbordamento de conhecimentos interindústrias. O novo conhecimento resultante dos esforços de pesquisa da Firma 1 pode permitir que outras indústrias melhorem seus produtos e/ou reduzam seus custos, incrementando seus lucros e o benefício aos consumidores em seus mercados. Tanto estes lucros quanto os benefícios aos consumidores também são elementos constituintes do retorno social da P&D, mas que não são apropriados pela Firma 1, elevando, por conta disso, o hiato de transbordamento.

Figura 2 – Retorno privado e social da P&D: transbordamentos de mercado e de conhecimentos.

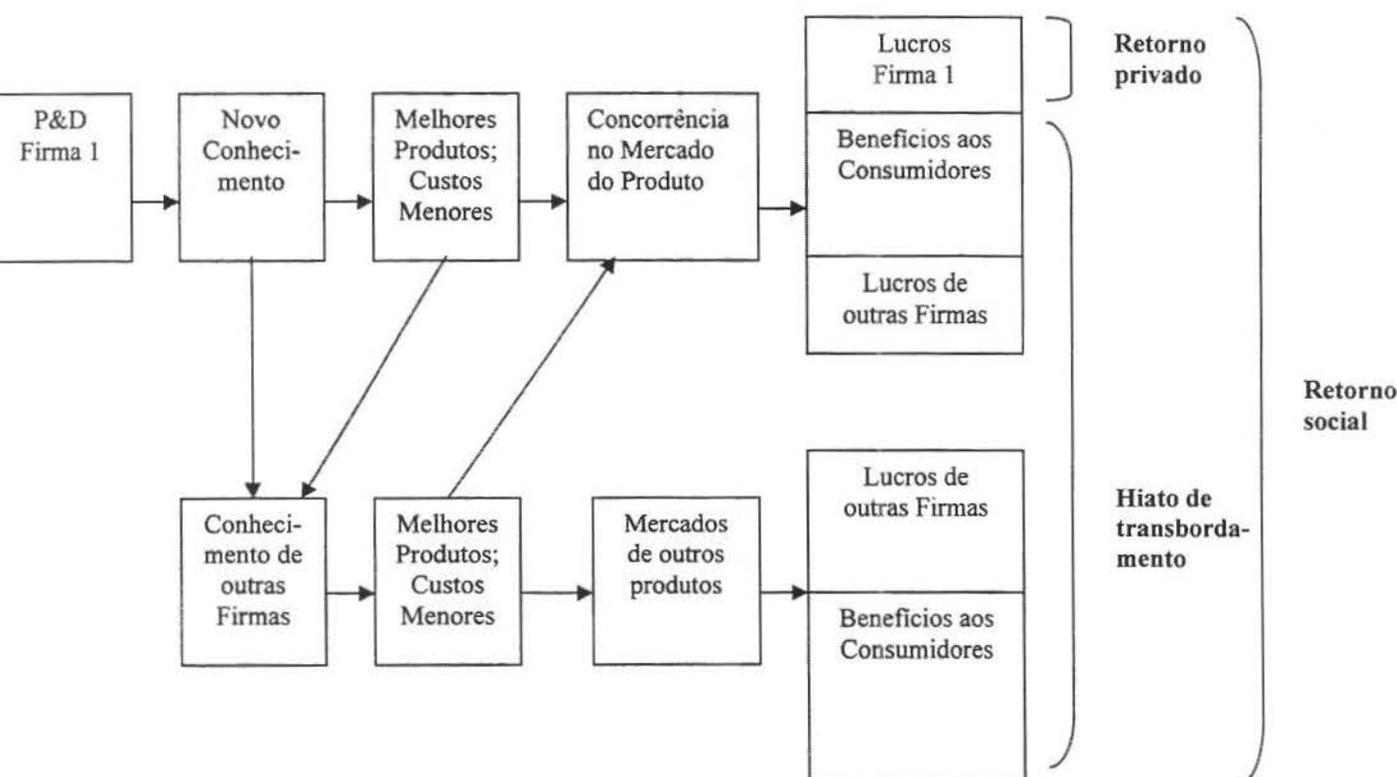


Fonte: adaptado a partir de Jaffe (1998)

É importante destacar que, mesmo no caso dos transbordamentos de conhecimento, o retorno social da P&D é extremamente dependente da utilização comercial do novo produto ou processo. A figura acima demonstra que os transbordamentos de conhecimento irradiam-se, em certa medida, da geração do novo conhecimento por parte da Firma 1, mas também, em grande parte, projetam-se dos seus esforços de comercialização. Com efeito, é lícito supor que outras empresas possam aprender algo a partir de publicações científicas e conferências, patentes, empregados, e outras resultantes subjetivas da atividade de pesquisa da Firma 1, porém, elas provavelmente aprenderão mais a partir do momento em que os frutos da

conhecimento são combinados com a competição nos mercados, entretanto, o efeito provável consiste em um encolhimento real da taxa de retorno privado” (Jaffe, 1998, p.15).

Figura 3 – Retorno privado e social da P&D: interação entre os transbordamentos de mercado e de conhecimento.



Fonte: adaptado a partir de Jaffe (1998)

Finalmente, a Figura 3 também pode ser usada para ilustrar a possibilidade de que o esforço de pesquisa de alguma empresa venha a gerar uma externalidade negativa para outras empresas. Suponha que os produtos aprimorados das “outras” firmas na Figura 3 provenham de suas próprias pesquisas, e pouco tenham a ver com o transbordamento de conhecimento da Firma 1. Com efeito, ainda deveria ocorrer uma diminuição nos lucros da Firma 1 como resultado desta nova competição. Neste caso, porém, como outras empresas perdem clientes e lucros com a entrada de um novo concorrente, há um transbordamento negativo associado aos investimentos em P&D (Mansfield et al., 1977).

Por exemplo, considere o caso do mercado de medicamentos anti-úlceras. Na década de 1970, surgiu o medicamento Tagamet, tornando possível, pela primeira vez, o decréscimo da produção de ácidos estomacais, além de simplesmente neutralizar os ácidos uma vez produzidos. Com efeito, observou-se um importante avanço da medicina que criou amplos benefícios sociais e também engrossou os lucros esperados para a empresa que introduziu a inovação. Em seguida, foi lançado o Zantac, uma droga que atendia aos mesmos objetivos do Tagamet, porém com menos efeitos colaterais. O fabricante do Zantac apoderou-se de grandes rendimentos, uma vez que a superioridade de seu produto permitiu-lhe conquistar grande parte do mercado do Tagamet¹⁸.

Do ponto de vista social, a introdução do Zantac teve três efeitos. Por um lado, o produtor do Zantac apurou lucros elevados, e os consumidores perceberam algum benefício advindo das características superiores do produto e da competição de preços entre as duas empresas. Por outro lado, o fabricante do Tagamet foi privado de uma fatia dos lucros que de outro modo ele teria conquistado. Conjuntamente, isto leva a crer que o incremento no valor social com o Zantac tenha sido modesto, a despeito do fato de seu produtor ter-se apoderado de lucros volumosos. Portanto, neste caso, é possível que a taxa de retorno privado da inovação tenha excedido a taxa de retorno social. Dado o significativo volume de recursos devotados à introdução desta inovação marginalmente valiosa (do ponto de vista da sociedade como um todo), é lícito presumir que a taxa de retorno social desta inovação tenha sido negativa.

Em termos mais amplos, a introdução de uma nova tecnologia pode, com freqüência, tornar os investimentos prévios em P&D obsoletos. Uma parte dos lucros do inovador pode ser vista como uma subtração dos rendimentos do líder tecnológico anterior. Isto consiste em uma externalidade negativa, isto é, um efeito social negativo da pesquisa que não é considerado pela empresa nas suas decisões sobre o investimento em P&D. Em um nível puramente teórico, torna-se crível que este efeito venha a dominar os outros dois, de modo que o

¹⁸ Para maiores detalhes, ver Berndt et al. (1994).

volume de investimentos privados em P&D alocados pelo mecanismo de mercado em um campo tecnológico qualquer torne-se desnecessariamente muito elevado.

Na prática, a evidência empírica deixa claro que não é este o caso geral, ou seja, o efeito líquido das externalidades positivas e negativas ainda é maior que zero para a maioria das inovações¹⁹. Contudo, a existência destes efeitos negativos tem algumas implicações. Em particular, se for possível identificar situações nas quais este efeito seja excepcionalmente grande, então pode-se conjecturar que tratam-se de ocasiões em que o benefício líquido do transbordamento possa ser pequeno ou mesmo negativo, sugerindo que estas não se constituam nas melhores áreas para o suporte financeiro das agências de fomento.

1.3. Mecanismos de Apropriação

As condições de apropriabilidade associadas aos investimentos em P&D os diferencia dos outros fatores de produção. Como já foi salientado, uma característica distinta deste tipo de investimento refere-se ao fato de que as empresas que assumem tais atividades são incapazes de excluir perfeitamente outras de obterem benefícios de seus esforços de pesquisa sem qualquer ônus. Embora as patentes e os segredos dos negócios sejam utilizados rotineiramente pelas empresas para excluir a possibilidade de que outros agentes comercializem suas invenções, sua aplicação efetiva gera custos e podem ter um efeito limitado²⁰. Esta falha potencial de mercado relacionada às dificuldades de apropriação dos conhecimentos implica que alguma forma de externalidade ou transbordamento acompanha a acumulação de conhecimento tecnológico.

As empresas industriais que atuam no Brasil investiram, em 2000, cerca de R\$4,3 bilhões em atividades de P&D (IBGE, 2002), de modo que, obviamente, é lícito pensar que elas esperam capturar retornos privados significativos. Isto não significa, como discutido

¹⁹ Ver Capítulo 2.

²⁰ Com efeito, os custos de exclusão contribuem para a existência dos transbordamentos tecnológicos.

acima, que o retorno social não seja até mais elevado, mas sugere que o entendimento dos mecanismos pelos quais as firmas se “apropriam” dos retornos da P&D é capaz de ajudar na compreensão de quando e onde os transbordamentos são mais prováveis e significativos. Deste ponto de vista, os transbordamentos podem ser maiores quando os mecanismos de apropriação não estejam disponíveis ou não sejam eficazes.

Conceitualmente, existem quatro formas relevantes pelas quais as firmas se apropriam dos retornos da P&D²¹. Em primeiro lugar, para minimizar os transbordamentos de conhecimento, as empresas podem tentar impedir legalmente que outros utilizem o conhecimento por elas gerado através dos instrumentos de propriedade intelectual como as patentes, o *copyright*, e por meio de contratos de trabalho que procurem prevenir que cientistas e engenheiros utilizem alhures o conhecimento gerado dentro da empresa. Em segundo lugar, para certos tipos de novos conhecimentos, o segredo do negócio pode ser efetivamente mantido. Em terceiro lugar, em alguns casos, simplesmente ser o pioneiro concede suficiente vantagem ao inovador para que possa capturar parcela significativa dos benefícios da inovação, mesmo que o conhecimento não seja de outra forma protegido. Finalmente, a despeito do modelo simples do conhecimento como um bem público, a exploração econômica do novo conhecimento requer, freqüentemente, outros ativos ou habilidades que podem não ser facilmente obtidos ou copiados. Investimentos nestes ativos “co-especializados” podem permitir à firma inovadora a apropriação de grande parcela dos retornos gerais da inovação.

A proteção conferida pela propriedade intelectual torna-se mais efetiva quando o conhecimento pode ser facilmente descrito e codificado. Desta forma, as patentes podem ser mais ativas nas indústrias químicas, incluindo medicamentos, e em algumas indústrias baseadas em tecnologias mecânicas relativamente simples²². Além disso, as patentes também são consideradas mais eficientes na proteção das inovações de produto do que de processo. Por outro

²¹ Para uma extensa discussão destes mecanismos, ver Levin et al. (1987) e Teece (1986 e 1992).

²² Isto provavelmente graças a uma combinação dos efeitos derivados da facilidade da obtenção de uma patente com os efeitos relacionados à facilidade de ação legal contra os infratores. Se, por exemplo, uma firma sintetiza uma molécula que anteriormente não existia, presume-se ser relativamente fácil satisfazer os requisitos de “novidade” necessários à obtenção de uma patente, bem como provar que outrem está comercializando indevidamente a mesma molécula. Em contraposição, pode ser difícil demonstrar que um sistema eletrônico ou mecânico complexo seja, ou não, substantivamente diferente dos já existentes.

lado, o segredo de negócios é mais efetivo na proteção do conhecimento tácito que é de difícil codificação (e, por isso, difícil de copiar), e mais útil na proteção das inovações de processo do que das inovações de produto (Levin et al., 1987).

As vantagens advindas do pioneirismo derivam de duas fontes primárias. Em primeiro lugar, ser o primeiro a comercializar uma nova tecnologia pode permitir à firma inovadora criar lealdade dos consumidores, que, em certo grau, protege o lucro da empresa mesmo no caso de outras firmas eventualmente imitarem o novo produto. Em segundo lugar, para tecnologias nas quais a “curva de aprendizado” seja importante, engendrando redução de custos à medida que se acumula experiência de produção, a firma pioneira pode conseguir uma vantagem nos custos de produção que seja dinamicamente auto-sustentada (Dosi, 1984). Ou seja, a firma pioneira adquire, primeiramente, experiência de produção, levando à redução de custos; por seu turno, estes custos reduzidos permitem ao inovador a manutenção de grande parcela do mercado, que acabam por aumentar a experiência de produção e reduzir ainda mais os custos.

Por último, a necessidade de ativos “co-especializados”²³, como, por exemplo, capacidade de produção em larga escala, uma rede de vendas e serviços organizacionais, uma reputação de confiabilidade dentro de uma linha de produtos, ou a habilidade de navegar pelos labirintos burocráticos das agências regulatórias que concedem aprovação para comercialização de certos produtos podem permitir que algumas empresas inovadoras protejam-se dos efeitos competitivos mais severos dos transbordamentos de conhecimento (Teece, 1986). Por outro lado, em produtos para os quais estes ativos sejam relevantes, as empresas que não os possuem supostamente terão dificuldades para apropriarem-se de grande parcela dos retornos de suas pesquisas. Estas, provavelmente, terão que licenciar sua tecnologia para empresas que possuam aqueles ativos (desistindo de uma parcela significativa dos lucros neste processo) ou, então, pode-se esperar que os transbordamentos de conhecimento incitem a competição de outras empresas que venham a se beneficiar dos conhecimentos gerados pelas primeiras, e que possuam vantagens competitivas significativas no mercado.

²³ Segundo Teece (1986), para gerar lucros, as inovações tecnológicas devem ser produzidas e comercializadas em conjunto com outros ativos complementares – genéricos, especializados e co-especializados.

1.4. Relações entre as Diretrizes Estratégicas Convencionais das Agências de Fomento e o Conceito de Transbordamento Tecnológico

O conceito de transbordamento está presente em algumas discussões e análises das agências de fomento, embora, freqüentemente, se faça uso de palavras diferentes para descrever o fenômeno. Este tópico pretende relacionar os termos e análises que são correntemente utilizados com os conceitos de transbordamentos tecnológicos descritos acima.

Tecnologias genéricas (ou de múltipla utilização). Esta espécie de tecnologia pode ser definida como aquela que permite várias aplicações distintas (Branscomb et al., 1992). Em conformidade com a estrutura analítica anteriormente apresentada, a tecnologia de múltiplos usos pode ser pensada como aquela criadora de vários caminhos distintos de transbordamentos de conhecimentos.

De acordo com a Figura 2, se o traçado inferior, que se inicia com o “conhecimento de outras firmas” impulsionado pelo transbordamento da pesquisa da Firma 1, for replicado várias vezes, pode-se dizer que a Firma 1 está criando uma tecnologia de múltipla utilização. As muitas e diferentes aplicações da tecnologia multi-uso podem tornar o transbordamento de conhecimento mais provável, uma vez que o desenvolvedor original da tecnologia seja incapaz de prosseguir com sucesso no desenvolvimento de todas as distintas aplicações, sugerindo que outros poderiam estar habilitados a captar as idéias e comercializar (gerando, portanto, outros rendimentos) muitas das aplicações resultantes.

Um fator que remete a tecnologias de múltipla utilização refere-se à necessidade de “prova do conceito”. Por exemplo, a tentativa de desenvolver um catalisador para certo tipo de reação de polimerização que seja baseado em um mecanismo inteiramente novo pode ser uma tecnologia multi-uso; a demonstração bem-sucedida da validade do novo mecanismo pode permitir que outros venham a desenvolver novos catalisadores para um amplo leque de outras reações de polimerização.

Outra forma de tecnologia multi-uso está presente quando o desenvolvimento de um componente específico constitui-se em um “gargalo” para atingir uma eficácia superior em várias outras aplicações. O proponente procura fazer uma melhoria neste componente, e redesenhar uma de suas aplicações a fim de explorar seu desempenho superior. Todavia, uma vez que o componente esteja disponível, todas as outras diferentes aplicações podem também ser aprimoradas. Por conseguinte, a tecnologia multi-uso cria transbordamentos de conhecimento significativos, pois acarreta uma ampla variedade de diferentes aplicações, sendo que nem todas são passíveis de implementação pela empresa que demonstrou com sucesso sua primeira aplicação.

Considera-se relevante o grau de distinção entre as diversas aplicações. Se, por exemplo, alguém inventa um novo limpador de pára-brisa para carros, poderia conjecturar que se trata de uma invenção multi-uso, uma vez que este poderia ser usado em qualquer carro, caminhão ou trator. Entretanto, estas não são aplicações distintas, no sentido de que não se requer grande pesquisa adicional para adaptar a idéia àquelas diferentes utilidades. A princípio, não há nada que impeça o inventor original de comercializar todas aquelas aplicações. Não obstante, quando se trata de numerosas aplicações bem distintas, o tempo e o conhecimento específico necessários para implementar a idéia genérica em diferentes áreas impossibilita que qualquer firma conquiste todos estes espaços. Isto torna os transbordamentos mais prováveis.

Tecnologia *pathbreaking*. Outro critério para o apoio do governo está relacionado à noção de “rompimento de trajetórias” tecnológicas, definido como uma tecnologia que induz mudanças revolucionárias nas áreas existentes ou que prometa abrir novos campos de atividade (Branscomb et al., 1992).

Enquanto a tecnologia multi-uso pode ser vista como aquela cujos impactos dos transbordamentos de conhecimento possam ser “amplos”, é lícito dizer que a tecnologia *pathbreaking* é aquela em que os transbordamentos são mais “profundos”. Isto é, a solução de certos problemas técnicos severos pode abrir uma nova linha de desenvolvimentos tecnológicos, criando, neste processo, novos mercados ou mesmo novas indústrias. Considera-se fora de toda

expectativa que a firma que originalmente ensejou esta nova trajetória venha a capturar todos ou mesmo grande parte dos benefícios econômicos gerados.

Tecnologia Industrial Básica (Infratecnologias). Tassej (1995) define as “infratecnologias” como sendo “uma série de ferramentas técnicas que permitem que o processo econômico seja mais eficiente”. Exemplos fornecidos por Tassej de infratecnologias incluem as atividades de metrologia, normalização técnica, regulamentação técnica, avaliação da conformidade, bem como serviços de informação e difusão tecnológica.

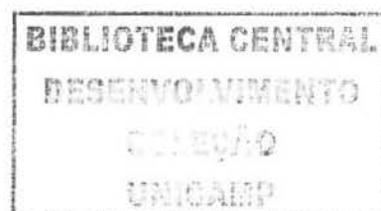
Claramente, este é um campo importante de atuação das agências de fomento. A FINEP, por exemplo, utiliza o conceito similar de “Tecnologia Industrial Básica” (TIB), ou seja, “projetos complementares e indispensáveis à preparação, à implementação e ao desenvolvimento sistemático da atividade de inovação” (FINEP, 2002, p.7).

Em particular, a infratecnologia pode ser vista como geradora de dois tipos de transbordamentos. Em primeiro lugar, o desenvolvimento de métodos de teste e mensuração, interfaces, e certas práticas de produção introduzem elementos de externalidades de rede. Isto é, estas tecnologias freqüentemente possuem a característica de depender do estabelecimento de padrões que serão compartilhados por múltiplos participantes da indústria. Não seria razoável para nenhuma firma desenvolver certa interface a menos que muitas outras empresas estejam dispostas a utilizá-la. Similarmente, o valor destes métodos de mensuração e controle é fortemente impulsionado quando os mesmos métodos são largamente utilizados. Pelas razões anteriormente discutidas, atividades que possuem este elemento de criação de padrões, com a concomitante geração de externalidades de rede, têm probabilidade de serem subprovisionadas pelo mecanismo de mercado.

A idéia de infratecnologia parece ser, contudo, mais ampla do que a mera padronização. Outra dimensão refere-se ao desenvolvimento de tecnologias que são essencialmente insumos para o processo de pesquisa. Mesmo sem o elemento de padronização, o desenvolvimento de certos tipos de dados científicos e de engenharia, ou a criação de instrumentos de metrologia, facilitam o processo de pesquisa. Pode-se perceber isto tomando as

infratecnologias como invenções cujo “mercado” é o próprio processo de pesquisa. Isto é, os consumidores são outros pesquisadores, e os transbordamentos de mercado aparecem na forma de incrementos de eficiência em outros programas de pesquisa.

Enfim, as diferentes noções de tecnologias que facilitam e possibilitam o desenvolvimento tecnológico podem ser utilizadas para capturar os vários mecanismos específicos pelos quais os transbordamentos de mercado e de conhecimento operam e interagem. Como discutido no Capítulo 4, a compreensão da significância destas trajetórias de transbordamento proporciona a base analítica para a avaliação do potencial de externalidades geradas pelos projetos propostos.



CAPÍTULO 2. MENSURAÇÃO DOS TRANSBORDAMENTOS TECNOLÓGICOS: REVISÃO DA LITERATURA

O capítulo anterior descreveu a estrutura analítica das externalidades da P&D. No presente capítulo, apresentam-se os resultados das principais avaliações empíricas, as mais frequentemente citadas pela literatura internacional, especificamente desenvolvidas para captar a importância dos transbordamentos tecnológicos. A maioria das análises consiste na mensuração do esforço ou resultado inovativo de um ou um conjunto de agentes, para então observar a correlação entre esta medida e o produto inovativo de outro agente ou conjunto de agentes. Todas, obviamente, procuram comprovar a hipótese de que, se os transbordamentos tecnológicos são relevantes, a taxa de retorno social dos investimentos em P&D excede a taxa de retorno privado.

Há, basicamente, dois tipos de abordagens: estudos de caso e econométricos. Os estudos de casos, em geral, procuram estimar a taxa de retorno social de projetos de pesquisa em particular através da avaliação extensiva dos efeitos econômicos das inovações resultantes. As informações detalhadas propiciadas por esta metodologia ampliam a compreensão dos mecanismos pelos quais o processo de transbordamento de desdobra nos mercados. Entretanto, como apontado na introdução, possuem a limitação de não serem amplamente representativos. Já os estudos econométricos, em sua maioria, utilizam-se da função de produção para tentar quantificar a externalidade a partir da inclusão de uma variável para o conhecimento gerado extra-firma na função de uma empresa, indústria ou país. Para isto, faz-se necessária a construção de uma medida de “proximidade” entre as empresas, seja em termos de similaridade tecnológica, proximidade geográfica ou de acordo com a natureza das relações econômicas envolvidas (por exemplo, fornecedor-produtor).

Como apontado por Griliches (1979), e destacado no capítulo anterior, cabe frisar que existem, pelo menos, dois conceitos diferentes de transbordamento por trás destas medidas: transbordamentos de mercado e de conhecimentos. Em que pese o fato de ser difícil

distinguir empiricamente estes dois conceitos, dependendo da natureza da pesquisa a quantificação da “proximidade” entre diferentes agentes pode envolver transbordamentos de mercado, de conhecimento, ou ambos. O que há de comum entre estes estudos é a conclusão de que o **hiato de transbordamento** (ou a diferença entre as taxas de retorno social e privado) geralmente é positivo, sugerindo que a externalidade negativa gerada pela competição é sobrepujada pelos efeitos positivos resultantes das externalidades de conhecimento e da ampliação do excedente do consumidor. A seguir, apresenta-se uma síntese dessas metodologias e dos principais resultados e conclusões, fundamentais à descrição do teste feito no próximo capítulo do presente trabalho.

2.1. Testes para os Transbordamentos de Mercado

Uma das linhas de pesquisa empírica acerca da importância e magnitude dos transbordamentos da P&D refere-se aos estudos de casos. As pesquisas seguindo esta metodologia procuram estimar o retorno social de uma inovação ou uma classe de inovações em particular cujos efeitos sejam limitados a uma indústria ou setor específico. A maioria dos estudos iniciais de acordo com esta abordagem concentrou-se em avaliar os retornos dos investimentos públicos na pesquisa agrícola, devido, em parte, à maior disponibilidade de dados agrícolas, bem como graças ao maior avanço relativo da pesquisa econométrica na área da economia agrícola nos anos 1950 e 1960 (Griliches, 1991)²⁴. Não obstante, os gastos privados em P&D também têm sido investigados.

As atividades de P&D, sejam realizadas com recursos privados ou públicos, geram novas idéias e informações sobre novos materiais ou melhores formas de produzir bens e serviços. Frequentemente, estas informações são incorporadas em um novo produto ou uma nova categoria de produtos. Neste caso, o retorno social de gastos em P&D em particular pode ser estimado pelo somatório dos excedentes do produtor e do consumidor resultantes da

²⁴ Os estudos da área agrícola não são diretamente comentados aqui. Para uma seleção de estudos de casos aplicados à agricultura consulte Griliches (1991), Tabela 1, p.36.

comercialização da inovação. Provavelmente, o trabalho mais elaborado e famoso que procura aplicar a metodologia de estudos de casos ao setor industrial é o de Mansfield e seus alunos (Mansfield et al., 1977). Com o intuito de calcular a taxa (interna) de retorno social da P&D, eles trabalharam com uma amostra de 17 inovações específicas, e procuraram estimar, para cada uma, o custo, ou gasto real da pesquisa, e os benefícios sociais gerados, em termos do valor presente dos fluxos de excedente do consumidor. Além disso, eles tiveram o cuidado de incluir na análise os esforços de inovação paralelos (os gastos em P&D realizados por outras organizações além do inovador original) e o impacto destas inovações sobre os concorrentes (a subtração de clientes e lucros associada à introdução de um bem substituto). Para esta amostra de invenções, eles encontraram uma taxa média de retorno social de 56%, mais que o dobro da taxa média de retorno privado, que girou em torno de 25%. Entretanto, eles não procuraram identificar especificamente os transbordamentos de conhecimento.

Mais recentemente, cabe considerar o estudo de Bresnahan (1986) sobre o impacto dos transbordamentos da indústria de computadores no setor financeiro como uma extensão desta abordagem. Teoricamente, os transbordamentos de mercado deveriam ser mensurados através da estimação da área sob a curva de demanda do bem final. Segundo o autor, isto poderia ser realizado por meio de técnicas econométricas ou com o auxílio de números-índice. Aplicando a técnica de números índice, Bresnahan escolheu a indústria de computadores porque, para os cálculos, faz-se necessária a utilização dos preços dos insumos ajustados qualitativamente, que já haviam sido estimados para esta indústria. Assim, ele usou as estimativas de declínio do preço real dos computadores realizadas por estudos anteriores e uma suposta elasticidade da demanda derivada por computadores do setor de serviços financeiros para calcular os ganhos de bem-estar proporcionados pelos transbordamentos. Para o período coberto pelo estudo, Bresnahan demonstrou que as empresas de serviços financeiros despenderam US\$ 68 milhões em serviços de computação, mas receberam benefícios de cerca de US\$ 200 a US\$ 400 milhões. Esta disparidade entre o custo dos computadores e os benefícios por eles gerados é uma medida dos transbordamentos de mercado, indicando que a taxa de retorno social desta inovação superou várias vezes o retorno privado.

O estudo realizado por Trajtenberg (1989) sobre o impacto econômico da tomografia computadorizada baseou-se em um modelo mais elaborado, mas pode ser visto como um descendente desta linha de pesquisa. Seu modelo considera explicitamente o problema de quantificar os ganhos de bem-estar econômico advindos da introdução de novos produtos com qualidade superior²⁵. O autor calculou que a taxa de retorno social em melhorias nestes instrumentos médicos girou em torno de 180% a 350% ao ano, de acordo com a abordagem utilizada em relação aos investimentos em P&D estrangeiros.

As informações detalhadas proporcionadas por esta metodologia têm sido extremamente valiosas para ampliar a compreensão de características específicas das indústrias de alta tecnologia. Entretanto, estes estudos de casos freqüentemente são refutados por não serem representativos, dado que se concentraram apenas no cálculo dos retornos sociais ou transbordamentos de invenções bem-sucedidas. Por esta razão, especialmente o desejo de realizar um trabalho mais geral e inclusivo, e também considerando-se a crescente disponibilidade de recursos computacionais, a maioria dos estudos recentes utiliza a abordagem econométrica.

A maioria dos estudos econométricos trabalha com modelos considerando a função de produção das firmas ou indústrias. Nestes estudos, uma medida do *pool*, ou combinação de recursos, de conhecimentos extra-firma (ou indústria) é incluída na estrutura da função de produção²⁶. Com efeito, esta variável representando o *pool* de P&D é construída como uma somatória ponderada da P&D realizada por outros agentes econômicos, sendo que os pesos idealmente representam a relevância do esforço de pesquisa assumido em outro lugar da economia para o agente em questão, ou seja:

$$S_{it} = \sum_{i \neq j} w_{ijt} K_{jt}$$

²⁵ Para uma discussão recente dos problemas envolvidos na quantificação dos ganhos de bem-estar econômico a partir da introdução de novos produtos, consulte Bresnahan e Gordon (1997). As evidências reunidas neste livro indicam que o acréscimo no excedente do consumidor com a introdução de novos bens pode ser substancial, e que os índices de preços usuais provavelmente subestimam os ganhos de bem-estar.

²⁶ Esta é a abordagem original sugerida por Griliches (1979).

onde S_{it} representa o *pool* de transbordamentos, e w_{ijt} a fração efetiva dos conhecimentos da firma ou indústria j (K_j) que são “tomados de empréstimo” pela firma ou indústria i no intervalo de t . Os pesos (w_{ijt}) consistem basicamente em alguma medida de proximidade entre as empresas, e têm sido elaborados de diversas maneiras. Obviamente, w torna-se menor à medida que a “distância”, em algum sentido, entre i e j aumenta. Como observou Krugman (1991, p.53), “fluxos de conhecimento (...) são invisíveis; eles não deixam um rastro definido através do qual se possa segui-los e mensurá-los”. Com efeito, como não se sabe exatamente onde e em que extensão as externalidades estão ocorrendo, os autores utilizam aproximações para o fluxo de transbordamentos. De acordo com a literatura internacional, pode-se destacar algumas formas de construção destes pesos para os fluxos de transbordamentos, a saber: matrizes de insumo-produto, classificações padrões de indústrias e de produtos, classificações de patentes, citações de patentes, tipos de P&D, fluxos de investimentos e de mão-de-obra ligada à P&D, qualificação do pessoal da P&D, e acordos de cooperação em P&D²⁷.

Os transbordamentos de mercado da P&D incorporados em insumos podem ser analisados através da variável *pool* de transbordamentos, na qual os pesos sejam derivados dos fluxos de bens intermediários entre empresas/indústrias²⁸. Por exemplo, Terleckyj (1974) procurou quantificar a proximidade entre empresas considerando as relações fornecedor-produtor. Neste sentido, o autor elaborou uma medida de P&D “tomado de empréstimo” para cada indústria, baseando-se no P&D das indústrias que lhes fornecem bens e serviços intermediários, máquinas e equipamentos. Trabalhando com dados ao nível da indústria, ele calculou que a produtividade da P&D das indústrias a montante implica em um retorno excedente da P&D da própria indústria de 20% a 50%, ao passo que a taxa de retorno privado girou em torno de 30%.

²⁷ Cabe destacar que, a maioria destes estudos utiliza dados agregados ao nível da indústria em vez de dados por empresas (microdados).

²⁸ De acordo com a metodologia da função de produção, trata-se mais de um problema estatístico do que de investigação dos efeitos dos transbordamentos. De fato, se os índices de preços oficiais refletissem corretamente as variações na qualidade dos produtos, a P&D incorporada nos insumos não seria relevante como uma variável explicativa (Griliches, 1991). Na ausência de índices qualitativamente ajustados, entretanto, pode-se tentar estimar os efeitos do retorno da P&D não apropriados através dos preços dos bens e serviços incluindo-se os investimentos em P&D dos fornecedores na função de produção dos produtores de acordo com a proporção das compras realizadas.

Scherer (1982 e 1984) considerou este problema utilizando os dados de patentes para construir uma medida da “direção” dos transbordamentos. Examinando uma grande amostra de patentes, ele classificou-as tanto pela indústria na qual a invenção ocorreu quanto pela(s) indústria(s) em que elas provavelmente teriam o maior impacto. Isto permitiu a criação de uma matriz de “fluxo de tecnologia”, que pode ser utilizada para alocar os dados disponíveis de gastos com P&D levando-se em conta tanto o dispêndio “original” da indústria quanto a P&D “importada” de outras indústrias, admitindo-se que o fluxo de transbordamentos da indústria j para a indústria i é proporcional à fração de patentes de j supostamente “destinada” à indústria i . Desta forma, ao examinar o crescimento da produtividade na indústria, o autor demonstrou que a variável de P&D “utilizado” tem um coeficiente maior e, freqüentemente, mais significativo do que a P&D realizada na própria indústria.

Cabe notar, entretanto, que existem alguns problemas com este tipo de abordagem para estimar os transbordamentos da P&D incorporados em insumos. Primeiramente, como é lícito supor que informações técnicas podem ser trocadas entre fornecedores e produtores, torna-se provável que esta medida de transbordamento capte, simultaneamente, os efeitos dos transbordamentos puros de conhecimentos na medida em que as firmas a jusante estejam engajadas em sua própria P&D e beneficiem-se indiretamente da pesquisa de seus fornecedores (Jaffe, 1998). Em segundo lugar, dados por empresas sobre fluxos de insumo-produto são extremamente raros e não existe nenhum estudo microeconômico desta espécie. Finalmente, os transbordamentos de mercado para o consumidor final, isto é, o acréscimo no excedente do consumidor associado com a introdução de novos bens e serviços ou técnicas de produção, não podem ser quantificados a partir desta metodologia (Bresnahan, 1986).

2.2. Testes para os Transbordamentos de Conhecimento

Na literatura empírica, é amplamente reconhecida a dificuldade de distinguir estatisticamente os transbordamentos de mercado e de conhecimentos. Como apontado anteriormente, o primeiro trata-se basicamente de insumos adquiridos por uma indústria cujos

preços de mercado não refletem totalmente o valor das inovações. Os verdadeiros transbordamentos de conhecimentos, entretanto, consistem nas idéias emprestadas de outros agentes a partir do resultado de suas pesquisas, sendo provável que este efeito tenha uma relação direta com a proximidade geográfica e tecnológica entre as empresas. De acordo com esta visão, indicadores baseados na classificação de produtos, na classificação de patentes, na qualificação do pessoal ligado à P&D, ou em acordos de cooperação em P&D parecem ser mais adequados para construir os pesos na equação de *pool* de transbordamentos apresentada acima, talvez acrescida com alguma medida de distância geográfica²⁹.

A metodologia proposta por Jaffe (1986) é a que mais se aproxima da tentativa de isolar os efeitos dos transbordamentos de conhecimentos. Aplicando as sugestões de Griliches (1979), o autor procura relacionar o desempenho das empresas com o fluxo de transbordamentos da P&D realizada por outros agentes econômicos. Além disso, Jaffe também estende a abordagem original ao incluir em suas formulações variáveis de controle para as diferenças no grau de oportunidade tecnológica entre os diferentes setores, e ao destacar que os efeitos dos transbordamentos sobre a produtividade da empresas dependem também do volume dos seus próprios investimentos em P&D.

Sua principal contribuição, entretanto, consiste na forma particular de implementação da equação para o *pool* de transbordamentos descrita acima. Para tentar isolar os transbordamentos de conhecimentos, Jaffe (1986) utilizou os dados de patentes para construir os pesos da proximidade tecnológica entre as empresas, uma vez que as patentes são classificadas a partir de critérios que levam em conta o tipo de tecnologia envolvida pela inovação. Examinando os depósitos de patentes de aproximadamente 500 empresas manufactureiras dos EUA, o autor procura configurar sua medida de “proximidade” entre quaisquer duas firmas baseando-se no grau de superposição, ou similaridade, da distribuição de suas patentes de acordo com a classificação patentária padrão. Para isso, supõe-se que qualquer par de empresas que realize atividades em uma mesma área tecnológica, tal como indicado pelos depósitos nas mesmas

²⁹ A respeito da dimensão geográfica, consulte, por exemplo, Jaffe (1989), Jaffe et al. (1993), Adams e Jaffe (1996), e Audretsch e Feldman (1996).

classes de patentes, tenha maior probabilidade de beneficiar-se mutuamente de seus resultados de pesquisas³⁰.

Jaffe calculou para cada empresa o volume de recursos de P&D extra-firma disponível, sendo que os gastos em P&D de outras firmas foram ponderados inversamente pela distância tecnológica estimada da empresa em particular. Assim, ele utilizou esta medida do *pool* de transbordamentos como uma variável explanatória na função de produção de conhecimentos da firma, adotando o volume de patentes concedidas à empresa como uma *proxy* para o produto. Com efeito, pode-se esperar que o coeficiente do *pool* de transbordamentos a partir desta formulação represente com mais precisão os transbordamentos puros de conhecimentos. Além disso, o autor também estimou os efeitos das externalidades da P&D considerando modelos para as equações de lucros e valor de mercado das empresas.

Seus resultados indicam um efeito positivo da variável *pool* de transbordamentos sobre as patentes, os lucros e o valor de mercado das empresas. Ou seja, a produtividade da P&D da empresa é afetada diretamente pela P&D realizada por seus “vizinhos” tecnológicos. O efeito é líquido, ou direto, porque se buscou controlar, ou manter constante, a variável que representa os gastos em P&D próprios da firma. De fato, para a equação de patentes (um indicador tecnológico dos resultados da pesquisa), os transbordamentos tecnológicos foram responsáveis por aproximadamente metade dos efeitos totais dos gastos em P&D, ou, dito de outra forma, a produtividade social da pesquisa foi cerca de duas vezes mais elevada que a produtividade privada. Para indicadores econômicos do resultado da pesquisa tais como lucros, produtividade e valor de mercado, ele observou que, na média, o retorno privado foi cerca de 30%, ao passo que o retorno social foi de aproximadamente 45%.

Cabe ressaltar que o efeito do *pool* parece ser também função dos gastos próprios de P&D da empresa. Isto é, quanto mais elevados os gastos em P&D da firma, maior a probabilidade que venha a se beneficiar das externalidades geradas pelos esforços de pesquisa de outras empresas. Examinado os coeficientes para as equações de lucros e valor de mercado,

³⁰ Este mesmo tipo de abordagem também é aplicado em Jaffe (1989) e Jaffe e Trajtenberg (1999).

descobriu-se que firmas que apresentaram um gasto em P&D inferior a média registraram efeitos negativos do transbordamento. Segundo o autor, isto pode ser interpretado como uma combinação das externalidades competitivas e de conhecimento, sendo que em média a última excede a primeira, porém, a primeira sobrepuja a última para empresas que realizam baixo P&D intramuros. Embora reconheça as dificuldades metodológicas envolvidas em seu trabalho, Jaffe conclui que a soma das “evidências circunstanciais” apresentadas é suficiente para inferir a existência dos transbordamentos tecnológicos.

2.3. Sumário das Estimativas de Transbordamentos Tecnológicos

A presença dos transbordamentos tecnológicos implica em uma divergência entre as taxas de retorno privado e social da P&D. Embora as estimativas das taxas de retorno da P&D sejam apenas o que o nome diz, estimativas, vários estudos nas últimas duas décadas têm confirmado a existência de altas taxas de retorno privado e de taxas ainda mais elevadas de retorno social. A Tabela 1 destaca uma amostra dos resultados importantes acerca das magnitudes das taxas de retorno da P&D encontradas na literatura empírica. Griliches (1991) faz um levantamento da maioria destes estudos econométricos. Ele conclui que “os transbordamentos de P&D estão presentes, sua magnitude pode ser relevante, e, com isso, as taxas de retorno social permanecem significativamente acima das taxas de retorno privado” (Griliches, 1991, p.24). Outra revisão dos resultados estatísticos realizada por Nadiri chega a conclusões semelhantes. O autor inferiu que a taxa média de retorno privado de uma inovação parece estar entre 20% e 30%, enquanto que a taxa média de retorno social é de aproximadamente 50% (Nadiri, 1993).

Tabela 1 – Taxas de retorno social e privado da P&D de estudos selecionados

Autor	Taxa de Retorno (%)	
	Privado	Social
Terleckyj (1974)	29	48 - 78
Mansfield (1977)	25	56
Sveikauskas (1981)	7 - 25	50
Scherer (1982, 1984)	29 - 43	64 - 147
Wolff-Nadiri (1987)	11 - 19	10 - 90
Goto-Suzuki (1989)	26	80
Bernstein-Nadiri (1991)	15 - 28	20 - 110
Nadiri (1993)	20 - 30	50

Fonte: tabela adaptada a partir de Griliches (1991) e Nadiri (1993).

Em que pese o fato de todos estes trabalhos implicarem em restrições metodológicas, os estudos realizados apontaram para conclusões não-paradoxais, não havendo razões, portanto, para duvidar da existência dos transbordamentos tecnológicos. Com efeito, o que fica realmente registrado após a análise da literatura selecionada, é que os resultados indicam, de maneira uniforme, que as taxas de retorno privado da P&D são altas, e os retornos para a sociedade são ainda mais elevados. Cabe enfatizar, entretanto, que estes estudos, individualmente, procuram abordar seja a externalidade de conhecimento seja a externalidade de mercado. Não foram encontradas pesquisas concebidas especificamente para controlar ambos os efeitos. Assim, como apontado por Jaffe (1998), graças à correlação entre os dois efeitos presente nos dados estatísticos, é provável que estas estimativas possuam alguma tendência de subestimar o efeito combinado dos dois fenômenos.

Finalmente, é importante observar que existem duas formas de considerar o hiato de transbordamento. Em termos absolutos, postula-se que a diferença entre a taxa de retorno social da P&D e a taxa de retorno privado, isto é, a taxa de transbordamento, está, em média, em torno de 20% a 30%. Por outro lado, pode-se considerar este excesso de retorno social em relação

à taxa de retorno privado. Desta forma, embora as estimativas apresentem variações, os transbordamentos tecnológicos parecem criar um hiato entre a taxa privada e social da P&D equivalente a 50% ou 100% da taxa de retorno privado. Uma vez que os estudos que estimaram as maiores taxas de retorno social também tenderam a calcular as taxas de retorno privado mais elevadas, a razão entre a taxa social e privada da P&D pode ser um indicador mais robusto do padrão geral de resultados.

CAPÍTULO 3. QUANTIFICAÇÃO DOS TRANSBORDAMENTOS DA P&D: APLICAÇÃO PARA O CASO BRASILEIRO

O objetivo deste capítulo é quantificar os efeitos das externalidades de conhecimentos e das variações na oportunidade tecnológica sobre a produtividade da P&D das empresas. A metodologia aproveitará alguns dos procedimentos vistos até aqui, principalmente a formalização da variável para o fluxo de transbordamentos e sua inclusão na função de produção de conhecimentos da firma na forma sugerida por Griliches (1979) e utilizada por Jaffe (1986). A novidade estará na aplicação e apresentação dos resultados para o caso brasileiro, feita com dados nacionais, a partir das informações individuais por empresas (microdados).

3.1. A Proximidade Tecnológica entre Empresas

Nas pesquisas sobre Organização Industrial considera-se importante caracterizar a natureza do ambiente tecnológico em que as empresas operam. Segundo Rosenberg (1983), a oportunidade tecnológica é um fator-chave na alocação de recursos para a invenção. Ou seja, firmas com ambientes tecnológicos similares exibiriam esforços em pesquisa e desenvolvimento mais semelhantes do que outras firmas em ambientes diferentes³¹. Da mesma forma, se os benefícios advindos dos transbordamentos tecnológicos da P&D – *spillovers* – são relevantes, o sucesso inovativo de uma empresa pode estar relacionado com o montante da P&D despendido pelas empresas tecnologicamente similares (Jaffe, 1986).

³¹ Define-se como **oportunidade tecnológica** as variações exógenas nos custos e no grau de dificuldade de inovação em diferentes áreas tecnológicas. Estas variações podem advir de características intrínsecas da tecnologia ou do estado do conhecimento científico em determinada época. Assim, o padrão de oportunidade tecnológica pode se modificar através do tempo, embora, aqui, admita-se que tais mudanças aconteçam vagarosamente, requerendo alguns anos para se manifestar significativamente. Para maiores detalhes sobre o conceito e suas implicações para análise econômica, ver Dosi (1982 e 1984); Nelson e Winter (1982); Malerba e Orsenigo (1996).

Aqui vale uma ressalva: indústria e tecnologia não são os mesmos conceitos. Dentro de uma mesma indústria, as empresas podem adotar diversas estratégias tecnológicas. A competição tecnológica e as externalidades de conhecimento entre indústrias também são relevantes, particularmente em indústrias baseadas na eletrônica ou em novos materiais avançados. Assim, para tentar testar as hipóteses mencionadas no parágrafo acima faz-se necessário classificar as empresas por tecnologias envolvidas. A utilização das classificações industriais nesta proposta mostrou-se insatisfatória (Scherer, 1982).

O uso das classificações industriais padrões também gera problemas ao tentar contemplar teorias alternativas. Por exemplo, o principal argumento contrário à visão de Rosenberg é o de Schmookler (1966), segundo o qual é a demanda de mercado que impulsiona a atividade inventiva. É difícil notar como pesquisas baseadas em classificações industriais conseguem distinguir aquelas duas hipóteses.

A metodologia de pesquisa proposta aqui consiste em utilizar os dados sobre patentes para tentar caracterizar as empresas por áreas tecnológicas em que são mais ativas. A classificação resultante será comparada com a classificação industrial padrão, e servirá para tentar lançar luz sobre as hipóteses discutidas acima.

Neste sentido, é importante observar que o conhecimento tecnológico em geral consiste em um número de distintos domínios tecnológicos. Uma empresa em particular pode tipicamente realizar esforços de pesquisa em mais de um destes domínios. Por exemplo, uma companhia automobilística pode realizar pesquisas sobre máquinas, aerodinâmica e propriedades estruturais de certos materiais. Uma empresa da indústria química pode estar trabalhando sobre catalisadores para certas reações de polimerização. Devido aos seus diferentes interesses de pesquisa, estas companhias serão diferentemente afetadas por desenvolvimentos científicos exógenos. Um fabricante de aviões, entretanto, pode se beneficiar dos mesmos progressos no campo da aerodinâmica ou em materiais tal como uma companhia automobilística.

O primeiro passo da pesquisa refere-se a encontrar um meio para caracterizar os interesses de pesquisa das empresas que permita quantificar aquela intuição de que um fabricante

de aviões está mais próximo de uma empresa automobilística do que de uma companhia química. Neste sentido, adota-se a suposição de que a distribuição das patentes de uma firma entre as classes de patentes – de acordo com a CIP (Classificação Internacional de Patentes) – reflete a distribuição subjacente de seus interesses de pesquisa³².

Deste modo, considera-se f_{ik} a fração das patentes da firma i que está na classe de patentes k (em um determinado período de tempo). O vetor $f_i = (f_{i1} \dots f_{ik})$ posiciona a firma em um espaço tecnológico de dimensão k . As empresas tecnologicamente relacionadas estão “próximas” umas das outras neste espaço. Uma das maneiras de medir a “proximidade” neste espaço, que deve refletir a similaridade dos interesses de pesquisa entre as firmas, é através da distância angular entre estes vetores³³. Esta medida denominada “proximidade tecnológica” entre as firmas i e j , é calculada como:

$$P_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^K f_{ik} f_{jk}}{(\sum f_{ik}^2)^{1/2} (\sum f_{jk}^2)^{1/2}} \quad (1)$$

Neste sentido, P_{ij} procura medir o grau de sobreposição de f_i e f_j . O numerador será tanto maior quanto mais patentes das firmas i e j estiverem nas mesmas classes. O denominador normaliza a medida para 1 se f_i e f_j são idênticos. Assim, P_{ij} será zero para pares de empresas sem nenhuma sobreposição na classificação de suas patentes, e será igual à unidade para firmas cujas distribuições sejam idênticas. Esta medida é conceitualmente similar ao coeficiente de correlação. Tal como uma medida de correlação, ela é completamente simétrica: $P_{ij} = P_{ji}$.

³² Esta é a metodologia básica sugerida por Jaffe (1986).

³³ Está é uma noção de proximidade relacionada à direção em que os f -vetores estão apontando, não estando necessariamente relacionada à extensão dos vetores. A separação angular entre os vetores é medida pelo cosseno do ângulo entre eles.

As propriedades desta medida são ilustradas na Tabela 2, que apresenta a proximidade para 10 empresas das indústrias de edição, impressão e reprodução gráfica, fabricantes de produtos químicos, de materiais eletrônicos e equipamentos de comunicação, e de máquinas para escritório e equipamentos de informática. Os cálculos são baseados em todas as patentes depositadas por estas companhias e publicadas entre 1992 e 2001, no Brasil. Para facilitar os cálculos, as centenas de classes presentes na Classificação Internacional de Patentes (CIP) foram agrupadas em 30 categorias (ver Anexo)³⁴.

Tabela 2 – Exemplo de proximidades entre empresas^a

EMPRESA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CNAE
1 ACHE	1									245
2 BIOSINTETICA	0,115	1								245
3 NATURA	0,134	0,293	1							240
4 UNILEVER	0,088	0,222	0,191	1						240
5 CCE	0,000	0,000	0,000	0,000	1					322
6 ITAUTEC	0,000	0,000	0,026	0,012	0,340	1				300
7 CIS	0,000	0,000	0,000	0,000	0,172	0,281	1			300
8 CSM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,261	0,388	0,569	1		220
9 ERICSSON	0,000	0,000	0,000	0,000	0,053	0,143	0,203	0,065	1	322
10 NEC	0,000	0,000	0,001	0,001	0,034	0,121	0,178	0,034	0,606	322

^a baseado em todas as patentes publicadas entre 1992 e 2001, no INPI.

Fonte: elaboração própria.

A observação da Tabela 2 revela fatos conhecidos, ou intuitivos, mas também proporciona novos *insights*. As companhias químicas, por exemplo, estão próximas umas das outras e distantes das outras indústrias. A CCE é relacionada como fabricante de materiais eletrônicos e equipamentos de comunicação, mas não está próxima das outras firmas da mesma indústria. Estas últimas guardam estreita relação entre si e alguma proximidade com as empresas fabricantes de máquinas para escritório e equipamentos de informática. Estas, por sua vez, apresentam certa relação entre si, e, interessante, com a CSM, classificada na indústria de edição, impressão e reprodução de gravações.

³⁴ Os domínios tecnológicos foram classificados a partir de um estudo do *Observatoire des Sciences et des Techniques* (OST), seguindo metodologia elaborada pelo *Maastricht Economic Research Institute on Innovation and Technology* (Merit) [ver (OST, 1996)].

A maior preocupação acerca do uso de patentes como um indicador tecnológico refere-se ao fato da “propensão a patentear” variar sistematicamente entre tecnologias diferentes. Deste modo, seria possível esperar a subestimação do interesse das empresas em áreas com baixa propensão a patentear, tal como computadores e semicondutores, e superestimar o interesse em domínios com alta propensão a patentear, como na química. Sem dúvida, este tipo de problema deve ocorrer em alguma magnitude. Entretanto, como ilustra a Tabela 2, mesmo no caso da área de informática parece haver suficiente atividade patentária para tornar útil a medida de proximidade.

Este indicador de proximidade tecnológica constitui o ponto de partida na tentativa de quantificar o fenômeno de transbordamentos tecnológicos da P&D (*spillovers*). Desde que estas externalidades sejam importantes, empresas realizando pesquisas em áreas nas quais muito trabalho também vêm sendo feito por outras empresas poderiam, *ceteris paribus*, obter maior sucesso. Em outras palavras, o *pool* de potenciais transbordamentos tecnológicos é maior em algumas regiões do espaço tecnológico do que em outras. Uma forma de quantificar esta idéia é assumir que cada firma defronta-se com um *pool* de transbordamentos em potencial que seja simplesmente a soma ponderada de toda P&D realizada pelas outras firmas, cujos pesos nesta ponderação são tomados das proximidades tecnológicas tal como definida acima. Ou seja:

$$S_i = \sum_{i \neq j} P_{ij} R_j \quad (2)$$

A hipótese a ser testada é a de que esta variável tenha alguma significância em explicar variações no sucesso inovativo das empresas.

3.2. Agrupamento de Empresas pela Proximidade Tecnológica

Com o intuito de verificar o fenômeno dos transbordamentos tecnológicos, ainda é necessário desenvolver uma ferramenta adicional para a compreensão dos padrões de

atividade no espaço tecnológico. Certamente, as empresas não estão distribuídas uniformemente dentre os diferentes domínios tecnológicos. É lícito observar que deve haver agrupamentos (*clusters*) de firmas em algumas regiões em particular. Estas regiões podem representar combinações de tecnologias que são cientificamente relacionadas, ou então podem corresponder a uma base tecnológica comum para um determinado grupo de produtos (Nelson e Winter, 1982). A identificação de tais agrupamentos fornece uma estrutura para a análise da importância da “oportunidade tecnológica” (Jaffe, 1986).

O mecanismo de agrupamento (*clustering*) utilizado aqui serve para identificar grupos dentre as firmas analisadas no espaço tecnológico de dimensão 30 (os 30 campos tecnológicos discutidos acima)³⁵. O objetivo é separar as observações de tal modo que os membros de cada grupo estejam próximos uns dos outros e distantes dos não-membros.

O procedimento adotado aqui para a separação e reconhecimento destes grupos é semelhante ao proposto por Jaffe (1985), em sua dissertação de doutorado³⁶. Trata-se de um mecanismo iterativo que simultaneamente identifica os grupos e assinala as empresas pertencentes a eles. A idéia central é supor que a distribuição das patentes de uma empresa entre as 30 categorias resulta de uma extração aleatória de alguma distribuição subjacente de probabilidade não observável, mas estável. Um grupo de firmas tecnologicamente relacionadas é considerado como o agrupamento de empresas cuja distribuição observada pode razoavelmente ser vista como resultante da mesma distribuição subjacente.

Para encontrar estes grupos, o ponto de partida consiste em arbitrar o número de *clusters* a serem formados; denomina-se este número de *N*. Nesta pesquisa, foram adotados de início os 30 domínios tecnológicos apontados acima como sendo o *N*. Sem dúvida, experimentações posteriores tornam-se necessárias para determinar o melhor número. Em seguida, cada empresa é alocada em uma destas categorias, na qual ela possui mais patentes em relação às outras categorias. Isto forma os *clusters* iniciais. Posteriormente, calcula-se a distribuição média por categorias para cada grupo, e supõe-se temporariamente que esta é a

³⁵ Ver nota de rodapé 34.

³⁶ Ver também Everitt (1980).

verdadeira distribuição subjacente para o grupo. Depois, considera-se individualmente cada distribuição das patentes entre as categorias por empresa, comparando-se, em seguida, com cada uma das distribuições por grupos. Na próxima rodada, cada empresa é alocada no *cluster* para o qual a verossimilhança da distribuição da empresa é maximizada. Depois que todas as firmas sejam separadas desta maneira, a distribuição do grupo é recalculada, então as empresas são realocadas, iterativamente até que cada firma esteja no mesmo *cluster* depois de sucessivas iterações.

As experimentações adotadas levaram a um agrupamento final com 26 grupos. Para ilustrar a composição destes *clusters*, a Tabela 3 mostra a tabulação destes grupos por indústrias. As indústrias presentes nesta tabela correspondem a classificação de atividades econômicas (CNAE) utilizada pelo IBGE; cada firma é assinalada por indústria baseando-se na sua atividade principal. Como esperado, alguns *clusters* tecnológicos são compostos por firmas de uma mesma indústria. Por exemplo, Farmacêutica-Cosméticos é composto na maioria por fabricantes de produtos químicos; Telecomunicações, na maioria por fabricantes de materiais eletrônicos e equipamentos de comunicações. Tecnologias que são consideradas por sua natureza mais genéricas, tais como Análise-Mensuração-Controle, Componentes Elétricos e Mecânicos, Construção Civil e Transportes possuem membros de muitas indústrias.

Algumas importantes ligações tecnológicas entre indústrias também podem ser observadas. Por exemplo, o interesse em comum dos fabricantes de máquinas para escritório e equipamentos de informática e da indústria de edição, impressão e reprodução de gravações em Informática. Ou, ainda, da indústria de máquinas para escritório e equipamentos de informática juntamente com os fabricantes de equipamentos médico-hospitalares e instrumentos de precisão em Análise-Mensuração-Controle. Além disso, a tabela também ilustra a ampla base tecnológica de várias indústrias. Cabe destacar as indústrias de Borracha e Plástico, Máquinas e Equipamentos, Fabricantes de Produtos de Metal e Montadoras de Veículos.

Tabela 3 – Distribuição da amostra de empresas segundo a classificação industrial e o *cluster* tecnológico

Grupo Tecnológico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Indústria																										
Indústrias extrativas														3												
Alimentos, bebidas e fumo							1					1							1							
Têxteis e confecção							2																	1		
Calçados e couros							3																			
Papel e celulose								2				1	1													
Edição, impres. e reprod. de gravações							1				1															
Refino de petróleo, fabric. coque						1																				
Fabric. produtos químicos					1			1		6								1		3	4	5				
Borracha e plástico	1		1			4	2	1				5														
Fabric. prod. minerais não-metálicos						1	1							1							1					
Metalurgia básica				1	1									6				1								2
Fabric. produtos de metal				2	4	2					1	4													1	1
Máquinas e equipamentos	1	10		2	3	1	5		1			3	1		3		1	3	1					1	3	
Máq. para escritório e equip. de informática	2										2	1														
Fabric. de máq., aparelhos e mat. elétricos	1			5	1											1							1		2	
Fabric. de mat. eletrônico e equip. de comunic	1		1				1																4			
Equip. méd-hospit., instrum de precis. e óptic., equip. automação ind., cronôm. e	2			1				2																		
Fabric. e montagem de veículos				1	2									1	1											3
Fabric. de outros equip. de transporte																										1
Móveis e indústrias diversas						1	10																			1

1, Análise-Mensuração-Control; 2, Aparelhos Agric E Alimentação; 3, Audiovisual; 4, Componentes Elétricos; 5, Componentes Mecânicos; 6, Construção Civil; 7, Consumo Das Famílias; 8, Engenharia Médica; 9, Espacial-Armamento; 10, Farmacêutica-Cosméticos; 11, Informática; 12, Manutenção-Gráfica; 13, Máquinas-Ferramentas; 14, Materiais-Metalurgia; 15, Motores-Bombas-Turbinas; 16, Ótica; 17, Procedimentos Técnicos; 18, Procedimentos Térmicos; 19, Prod Agric E Alimentares; 20, Química De Base; 21, Química Macromolecular; 22, Química Orgânica; 23, Telecomunicações; 24, Trabalhos Materiais; 25, Transportes; 26, Tratamento De Superfícies

Fonte: elaboração própria.

Observando-se as tabulações para empresas em particular, nota-se, outrossim, resultados interessantes. A Ford, fabricante de veículos pela classificação CNAE, está no centro do *cluster* Componentes Elétricos, ao lado da ABB e Kohlbach. Ao passo que a Valeo, fabricante de produtos de metal, insere-se no *cluster* Transportes. A Aracruz, da indústria de papel e celulose, alinhou-se ao grupo tecnológico de Máquinas-Ferramentas, juntamente com a Romi. A Sadia, fabricante de alimentos e bebidas, foi agrupada no *cluster* Manutenção-Gráfica.

Até este ponto, procurou-se evidenciar que a caracterização das empresas por sua posição tecnológica utilizando os dados de patentes é descritivamente útil. Na próxima seção, o objetivo é demonstrar que esta caracterização pode tornar-se o arcabouço para o teste de hipóteses sobre a natureza da mudança tecnológica.

3.3. Evidências sobre Transbordamentos e Oportunidades Tecnológicas

Empresas privadas investem seus recursos em P&D para desenvolver um novo “conhecimento” economicamente útil. A produtividade dos investimentos em P&D pode ser variável graças, em parte, a fatores aleatórios ou “sorte”, e, em certa medida, devido aos efeitos sistemáticos do ambiente econômico e tecnológico das empresas. São exatamente estes efeitos sistemáticos que se procura compreender. Se a oportunidade tecnológica é importante, então a produtividade da P&D de uma empresa deveria estar sistematicamente relacionada à sua posição no espaço tecnológico, tal como caracterizada pela sua designação de *cluster* tecnológico. Se os transbordamentos são relevantes, então a produtividade da P&D deveria estar sistematicamente relacionada ao volume dos gastos de P&D realizados por empresas “vizinhas”, medido pelo *pool* de transbordamento potencial definido acima.

Considera-se impossível, obviamente, observar o produto direto do novo conhecimento. Torna-se factível, entretanto, a mensuração de algum indicador da produção de novos conhecimentos. Neste trabalho, será utilizado como tal indicador o depósito de patentes

realizado pelas firmas³⁷. Sabe-se que este indicador pode estar “contaminado” por muitas coisas além do novo conhecimento. Na medida do possível, tentar-se-á controlar estes outros fatores, a fim de obter algumas conclusões consistentes sobre os determinantes do processo inovativo.

A estratégia de pesquisa consiste em utilizar técnicas estatísticas de regressão para “explicar” a variável indicadora de inovação, isto é, as patentes, em função da P&D própria da firma, da variável de *pool* definida pela equação (2) e da classificação de *cluster* tecnológico. Trata-se de um processo dinâmico, sendo que muito trabalho já foi desenvolvido acerca da natureza dos *lags* envolvidos³⁸. Os dados não são ricos o suficiente para permitir uma especificação dinâmica com efeitos de transbordamento. A equação a ser estimada, portanto, deve ser vista como de relações no longo-prazo ou no “estado-estacionário”.

O modelo geral parte da suposição de que o novo conhecimento produzido por uma firma em dado período está relacionado aos seus gastos de P&D naquele período de acordo com a função Cobb-Douglas modificada³⁹:

$$k_i = \beta_1 r_i + \beta_2 r_i s_i + \gamma_1 s_i + \sum_{c=1}^{26} \delta_{1c} D_{ic} + \varepsilon_{1i} \quad (3)$$

na qual k_i é o novo conhecimento gerado pela firma i , r_i corresponde aos gastos de P&D da firma i , e s_i é o “*pool* de transbordamento” potencial cuja construção foi descrita acima. Todas estas variáveis estão expressas em logaritmo natural⁴⁰. Os D_{ic} são uma série de variáveis *dummy* para os *clusters* tecnológicos discutidos anteriormente; se a oportunidade tecnológica é importante, os δ_{1c} serão diferentes entre os c . O termo ε_{1i} refere-se à perturbação estocástica,

³⁷ Existe um longo debate na literatura especializada sobre a utilidade das estatísticas de patentes como indicador de inovação. Para os fins aqui propostos, é suficiente salientar que os dados de patentes têm, repetidamente, passado nos testes de sua relevância econômica. A este respeito, consulte Pavitt (1985), Basberg (1987), Griliches (1990), e Archibugi (1992).

³⁸ Ver Hall et al. (1983); e Pakes e Griliches (1984).

³⁹ Na realidade, poder-se-ia esperar que a função de produção de conhecimento dependesse de um *lag* distribuído de P&D, porém esta estrutura de *lags* é difícil de identificar; ademais, a maior parte do efeito parece recair sobre a P&D contemporânea. Ver referências da nota de rodapé 38.

⁴⁰ Para simplificar o acompanhamento do texto, letras minúsculas correspondem aos logaritmos das variáveis; o β indica os coeficientes das variáveis endógenas e, o γ , das variáveis exógenas.

assumindo-se que seja distribuído independentemente, porém não necessariamente de modo idêntico entre os i ⁴¹. Este último inclui atributos específicos da empresa que podem estar correlacionados com r_i ; isto implica em problemas de estimação cruciais que serão discutidas mais abaixo.

A equação (3) implica que a P&D de outras empresas pode aumentar a produção de conhecimento da firma diretamente, bem como elevar a elasticidade de sua P&D própria. Isto significa que a elasticidade de produção de conhecimento de cada empresa com relação à P&D é igual a $\beta_1 + \beta_2 s_i$. Para facilitar a interpretação, subtraiu-se a média da variável de transbordamento antes da estimação, de tal modo que a elasticidade para a firma com um *pool* de transbordamento médio consiste apenas em β_1 . Se, tanto β_2 quanto γ_1 fossem iguais a zero, a equação (3) corresponderia à “função de produção de conhecimento” padrão (Griliches, 1979).

Como destacado acima, o conhecimento não é observável, porém supõe-se que uma fração dele seja patenteado de acordo com

$$P_i = \exp \left[\sum_{c=1}^{26} \alpha_c D_{ic} \right] [\exp(\eta_i)] K_i \quad (4)$$

Assim, a razão P_i / K_i (a propensão a patentear) para a firma i depende de sua posição tecnológica e de um componente aleatório específico, η_i . Novamente, supõe-se que η_i seja independente entre as empresas.

Tomando-se os logaritmos da equação (4) e substituindo-a na equação (3) tem-se:

$$p_i = \beta_1 r_i + \beta_2 r_i s_i + \gamma_1 s_i + \sum_{c=1}^{26} (\delta_{1c} - \alpha_c) D_{ic} + \varepsilon_{1i} \quad (5)$$

⁴¹ Se existe covariância entre as empresas no que diz respeito à produtividade da P&D, então é justamente isto que constitui os padrões de oportunidade tecnológica. Aqui, assume-se que isto será captado pelos termos $\delta_{1c} D_{ic}$.

que é a equação que relaciona as patentes da empresa i à P&D e ao *pool* de transbordamentos tecnológicos. Dado que se permitiu a dependência da propensão a patentear com relação à posição tecnológica, as variáveis *dummy* para os *clusters* tecnológicos na equação de patentes não podem ser relacionadas unicamente à oportunidade tecnológica. Como discutido adiante, isto suscita alguns problemas ao se tirar conclusões sobre a oportunidade tecnológica.

O modelo foi estimado a partir de uma amostra de 172 empresas manufatureiras (pessoas jurídicas) através do método de regressão múltipla com ajuste monotônico. As empresas foram escolhidas levando-se em conta o depósito de patentes; os critérios para a seleção da amostra e os detalhes da construção das variáveis estão descritos no Anexo Metodológico. Estas 172 firmas correspondem a aproximadamente 7% do total de empresas que declararam gastos em P&D em 2000, porém foram responsáveis por 40% do total de gastos privados declarados.

A regressão foi centrada em 2000, devido à disponibilidade de dados microeconômicos de P&D. A variável “patentes” consiste em uma média das patentes publicadas em 3 anos, a fim de afastar problemas de efeitos transitórios e aproximá-la dos valores de longo prazo. Para o agrupamento de empresas pela posição tecnológica foram utilizados os dados de patentes publicadas em 10 anos (1992-2001), procurando-se conferir maior precisão acerca dos interesses de pesquisa das empresas envolvidas.

A Tabela 4 resume os resultados da regressão. Os coeficientes estimados são elasticidades, ou seja, eles indicam a variação proporcional no indicador associada a uma variação percentual na variável relacionada. Por exemplo, a primeira linha indica que um aumento permanente de 10% nos gastos de P&D está associado, na média, com um aumento de 2% nas patentes anuais. Em consonância com o arcabouço teórico, o efeito direto da P&D própria sobre a inovação é positivo.

Tabela 4 – Resultados da regressão para o indicador de inovação

Regressor	Indicador: patentes
P&D próprio	0,2 (0,03)
<i>Spillover</i>	0,68 (0,21)
P&D x <i>Spillover</i> (interação)	-0,01 (0,07)
<i>Cluster Dummies</i> F-estatística	1,68
R ²	0,35
Número de observações	172

Todas as variáveis estão expressas em log natural. O erro padrão está entre parentêses. As *dummies* para os clusters tecnológicos são significativas com um intervalo de 95% de confiança.

Fonte: elaboração própria.

As variáveis *dummies* para os *clusters* tecnológicos foram significativas na equação de regressão. Isto implica que, depois de controladas as variáveis relacionadas aos próprios atributos da empresa e ao *pool* de transbordamentos, existem variações sistemáticas nas patentes associadas a diferentes *clusters* tecnológicos. Os coeficientes para os *clusters* na equação medem, em certo sentido, o excesso de retorno médio da P&D (positivo ou negativo) experimentado pelas empresas daquele grupo, em termos de patentes.

A razão para incluir estas *dummies* na equação de patentes consiste na suposição de que as variações na oportunidade tecnológica, definida acima como exógena, determinassem variações na produtividade da P&D das empresas. Pela abordagem da análise de variância, a estatística F lançada na Tabela 4 demonstra claramente que as *dummies* para os *clusters* são conjuntamente significativas na equação. Entretanto, torna-se difícil reconhecer o quanto, realmente, a oportunidade tecnológica está por trás destes efeitos de *cluster*, uma vez que, na construção do modelo, relacionou-se a propensão a patentear à posição tecnológica das empresas. Uma forma de investigar esta questão seria elaborar modelos com outros indicadores

de sucesso tecnológico além das patentes (tais como lucros, valor de mercado, etc), e, posteriormente, comparar os padrões dos coeficientes entre as equações.

No que diz respeito à variável *pool* de transbordamentos constata-se que também é significativa em explicar variações no sucesso inovativo. Os resultados da regressão implicam que o nível de recursos destinados à P&D pelas empresas próximas tecnologicamente tem um efeito direto positivo sobre os resultados do esforço inovativo de uma empresa individual. Neste sentido, para uma empresa representativa, a elasticidade das patentes em relação à P&D de outras empresas é 0,7.

Note que, se todas as empresas aumentarem seus dispêndios em P&D proporcionalmente, isto eleva a média de P&D por firma e a média de *pool* de transbordamentos no mesmo montante. Assim, a elasticidade do total de patentes em relação ao P&D total equivale à soma dos dois parâmetros, ou seja, dos efeitos da P&D própria associados aos transbordamentos das empresas na vizinhança tecnológica ($0,2 + 0,7 = 0,9$). Em outras palavras, se o conjunto de empresas elevar sua P&D em 10%, o total de patentes poderia aumentar em 9%, sendo aproximadamente $\frac{3}{4}$ deste aumento devido ao efeito de transbordamento. À primeira vista, este resultado pode parecer presunçoso. Entretanto, é consistente com a concepção da P&D como uma atividade que gera conhecimento que, em certa medida, torna-se público. Em termos dos produtos marginais avaliados na média dos dados, os coeficientes implicam um retorno de 0,07 patentes por R\$ 1 milhão gastos em P&D própria, e 0,03 patentes por R\$ 1 milhão de P&D relevante gasto por outras empresas.

Por fim, cabe notar que o efeito de interação entre a P&D própria de uma empresa e o volume de *spillovers* do qual se beneficia não se mostrou significativamente diferente de zero, aos níveis convencionais de significância. Isto sugere que o efeito do *pool* não depende do montante de gastos de P&D realizado pela firma. Ou seja, não se pode afirmar a extensão dos efeitos “competitivos” (isto é, negativos) de transbordamento. Isso denota uma tendência de transbordamentos em geral; isto é, sua magnitude parece não variar para firmas diferentes dependendo de quanto elas gastem em P&D intramuros.

Em resumo, percebe-se um aumento no número de patentes devido tanto ao efeito direto da P&D própria realizada pela firma quanto ao efeito do *pool* de transbordamentos para todas as empresas, independentemente da magnitude dos gastos em P&D intramuros. Estas tendências permanecem após controlada a possibilidade de que as áreas tecnológicas estejam associadas às variações na produtividade da P&D. Estes resultados podem ser interpretados como uma demonstração dos efeitos das externalidades dos gastos em P&D, discutidos anteriormente. Ou seja, o sucesso inovativo dos “vizinhos” tecnológicos pode tornar mais fácil para a empresa atingir os seus próprios objetivos tecnológicos.

Deve-se salientar que os transbordamentos modelados neste trabalho referem-se àqueles derivados dos programas de pesquisa das empresas. Esta noção de externalidade é **conceitualmente** distinta dos “fluxos tecnológicos” mensurados por Scherer (1984), no qual a P&D de um fornecedor está incorporada em produtos aprimorados que, desta forma, beneficiam os compradores. Pode-se esperar, entretanto, que em alguma medida os fornecedores e seus compradores estão próximos tecnologicamente, no sentido aqui proposto. Portanto, as estimativas de transbordamentos tecnológicos puros podem estar contaminadas em alguma extensão pela existência de transbordamentos incorporados em produtos, embora seja também razoável que não se tenha capturado este efeito totalmente dado que alguns compradores (incluindo consumidores) fazem pouca ou nenhuma P&D própria. Desta forma, as estimativas estão no limiar do efeito combinado destes dois tipos de transbordamentos.

Por fim, uma limitação importante deste trabalho foi a de ignorar as relações internacionais. Em um modelo mais geral, poder-se-ia conjecturar que os fluxos de transbordamentos dependessem da proximidade tecnológica e geográfica⁴². A existência de uma significativa atividade patentária por firmas estrangeiras no Brasil e a identificação da origem do depositante nas bases de dados de patentes transformam este tema em um campo potencial para futuras pesquisas.

⁴² Com relação à dimensão geográfica, há, na verdade, várias correntes de pensamento com enfoques distintos que buscam explicar, teórica e empiricamente, a relação entre geografia e inovação e a formação de *clusters* geograficamente concentrados. Para uma discussão abrangente da literatura sobre o tema, consulte Breschi e Malerba (2001). Para o caso brasileiro, cabe destacar a linha de pesquisa do GEEIN-UNESP/NEIT-UNICAMP/POLI-USP sobre arranjos produtivos locais. Para detalhes sobre a proposta e resultados interessantes, ver Suzigan et al. (2001).

CAPÍTULO 4. TRANSBORDAMENTOS TECNOLÓGICOS E POLÍTICA INDUSTRIAL

O capítulo anterior procurou verificar a importância dos transbordamentos tecnológicos para a indústria brasileira. No presente capítulo, pretende-se sugerir alternativas para a incorporação da análise do processo de transbordamento na estrutura decisória das agências de fomento à atividade inovativa. Discutem-se, também, as dificuldades envolvidas na seleção de projetos de pesquisa geradas pela interação dos transbordamentos com o risco do negócio e as decisões privadas de gastos com P&D. Esta discussão aponta a necessidade de coleta de dados, construção de indicadores e esforços de pesquisa para a quantificação dos impactos dos transbordamentos, incrementando, assim, a capacidade das agências de fomento em inferir a probabilidade da presença destas externalidades nos projetos propostos.

4.1. Considerações Preliminares: Implicações Políticas

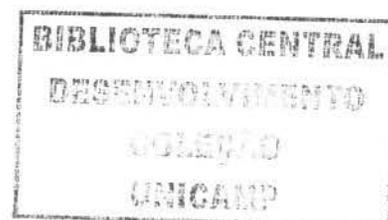
A principal consequência da existência de significativos transbordamentos tecnológicos consiste no fato de que as empresas privadas podem investir menos em P&D do que seria socialmente desejável. Esta observação não é meramente teórica: a revisão da literatura empírica internacional, bem como os resultados para o teste aplicado aqui para o caso brasileiro, apontam que uma parte significativa dos benefícios sociais gerados pelo novo conhecimento tecnológico não é capturada pelas firmas que investem em P&D. Esta falha de mercado associada à P&D e as inovações tecnológicas constitui uma das justificativas centrais para as políticas públicas de fomento à atividade inovativa.

O papel da política tecnológica, entretanto, não é o de substituir o julgamento privado pela decisão governamental, mas sim corrigir um problema real e significativo: o subinvestimento em pesquisa básica e aplicada resultante da divergência entre as taxas de retorno

social e privado destas atividades. Deste ponto de vista, o objetivo das agências públicas de fomento à inovação consiste em investir seus recursos em projetos que tenham uma elevada taxa de retorno social, mas que nunca seriam realizados, ou ainda assumidos de uma forma mais lenta ou em uma escala menor do que seria desejável da perspectiva nacional, sem o apoio governamental. Com efeito, a seleção de projetos e a avaliação dos programas de fomento podem tornar-se mais efetivos através da incorporação da análise dos efeitos dos transbordamentos tecnológicos. Com relação aos critérios para a seleção de projetos de pesquisa, isto implica em identificar os fatores tecnológicos, econômicos e institucionais que apontem para um amplo hiato de transbordamento, ou a diferença entre as taxas de retorno social e privado das propostas.

Considera-se como um critério, geralmente aceito, para as políticas públicas que os programas sejam capazes de maximizar a taxa de retorno social dos gastos realizados. No caso das agências de fomento, este objetivo básico deve ser qualificado por um número de requisitos de enquadramento e seleção, incluindo a busca de “resultados econômicos e sociais a partir da pesquisa e de serviços voltados à inovação, fomentando o seu pleno desenvolvimento até sua adoção pelos usuários e beneficiários” (FINEP; 2002, p3). Dentre as propostas que se encaixam nas diretrizes estratégicas, contudo, as agências de fomento prefeririam despender seus fundos no sentido de gerar o maior retorno social possível.

A maximização do retorno social dos investimentos das agências de fomento ainda é problematizada pela possibilidade de que seus recursos financeiros venham a deslocar, por inteiro ou parcialmente, os recursos privados dedicados à P&D, implicando que os benefícios sociais da pesquisa poderiam se concretizar mesmo sem o apoio das agências. A possibilidade de deslocamento do investimento privado induz à distinção entre a taxa de retorno social do projeto e a taxa de retorno social dos gastos da agência de fomento (Jaffe, 1998). Com efeito, se a agência financia uma proposta com alta taxa de retorno social, porém ao fazê-lo “expulsa” amplamente os fundos privados, então o retorno social dos gastos da agência (a taxa de retorno pública dos investimentos governamentais) será reduzido, a despeito da elevada taxa de retorno



social do projeto⁴³. Por conta disso, as agências deveriam procurar fomentar projetos que possuam uma elevada taxa de retorno social e probabilidade reduzida de que os recursos da agência desloquem os fundos privados⁴⁴.

4.2. Incorporando Considerações sobre Transbordamentos Tecnológicos na Política Industrial⁴⁵

A dificuldade de seleção simultânea de propostas com elevada taxa de retorno social e reduzida probabilidade de deslocamento consiste no fato de que muitos fatores que apontam para retornos sociais importantes também remetem à probabilidade significativa de deslocamentos; inversamente, condicionantes que indiquem baixa probabilidade de deslocamentos podem sinalizar retornos sociais reduzidos. A razão para esta interconexão é que o grau de envolvimento da iniciativa privada em um projeto é afetado pela taxa de retorno privado do investimento. Qualquer fator que tenda a aumentar, simultaneamente, tanto a taxa de retorno privado quanto a social tornará mais severo o perigo de deslocamento em projetos com altas taxas de retorno social.

A solução deste dilema, segundo Jaffe, consiste na “observação dos fatores que provocam a divergência entre as taxas de retorno privado e social: a presença de tais fatores indicaria a possibilidade de que os retornos sociais possam ser elevados ao mesmo tempo em que o risco de deslocamento seja reduzido” (Jaffe, 1998, p.15). Tal indicador consiste justamente na

⁴³ Note que, mesmo que o apoio da agência de fomento venha a acelerar o projeto, ainda pode implicar em deslocamento parcial dos investimentos privados. Se o agente privado estivesse disposto a gastar R\$ 100 mil no ano, porém com o suporte da agência o orçamento passasse a R\$ 120 mil com divisão de custos meio a meio, então o projeto seria acelerado, porém R\$ 60 mil de fundos públicos produziriam um aumento de apenas R\$ 20 mil no esforço de pesquisa. Cada real gasto pela agência corresponderia a apenas 33 centavos de incremento no financiamento do projeto.

⁴⁴ Cabe ressaltar a dificuldade inerente ao processo de seleção de projetos de identificar com certeza a extensão em que os fundos públicos possam deslocar os recursos privados, ainda mais se se tem em conta que os proponentes possuem, naturalmente, um incentivo para subdeclarar o tamanho provável do deslocamento.

⁴⁵ Este tópico foi construído a partir do trabalho de Jaffe (1998, p.15-17). A discussão que se segue representa um resumo das observações do autor.

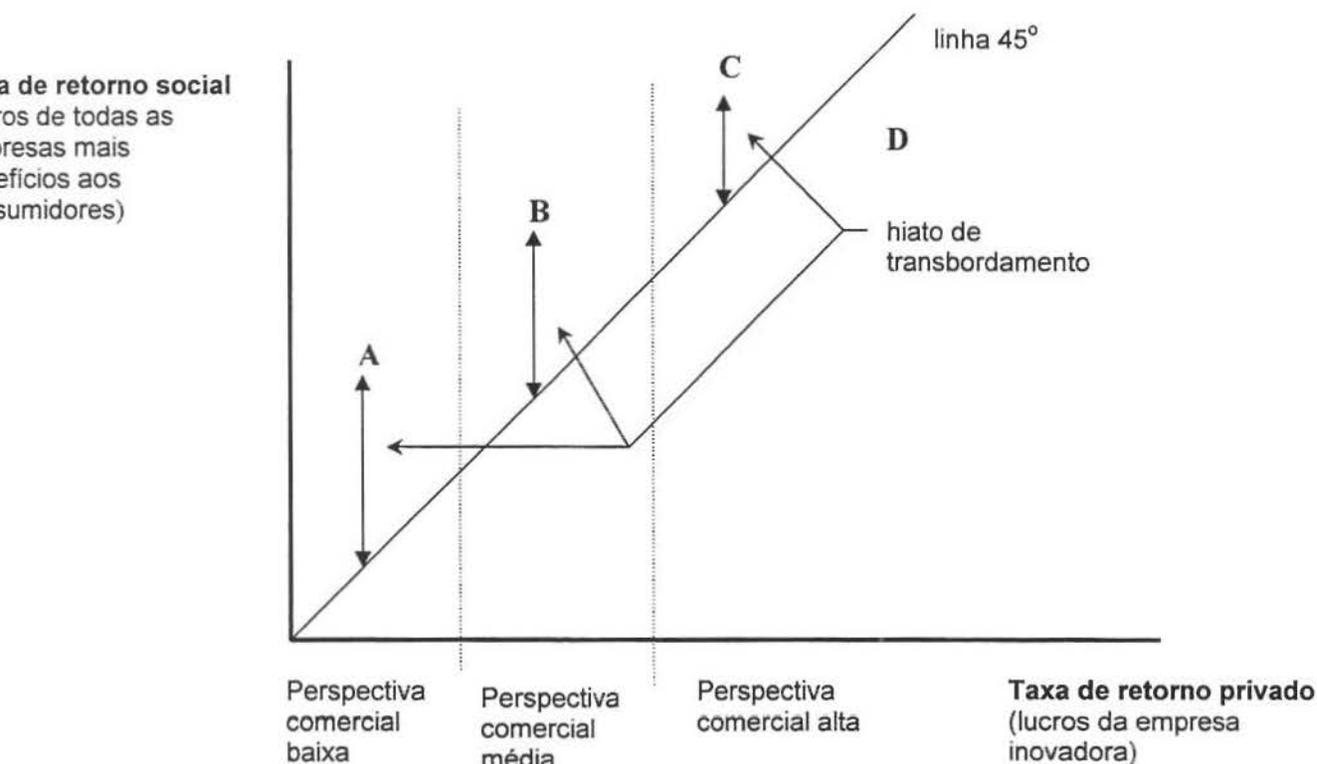
existência de transbordamentos tecnológicos potencialmente elevados. Portanto, ao buscar selecionar propostas em que a expectativa de transbordamentos seja particularmente elevada, as agências de fomento estarão cumprindo seu objetivo central, de modo que procurem maximizar o retorno social dos seus gastos pela minimização da extensão do deslocamento dos recursos privados⁴⁶.

A Figura 4 abaixo procura ilustrar as relações entre a taxa de retorno social, a taxa de retorno privado e o risco de deslocamento. O gráfico exemplifica as taxas de retorno privado e social para alguns projetos hipotéticos. Cabe frisar, no entanto, que sempre existirá uma enorme incerteza *ex ante* acerca de ambos os retornos de um projeto. Com efeito, os eixos representados neste diagrama deveriam ser considerados em termos dos retornos esperados, isto é, a magnitude dos rendimentos caso o projeto seja bem-sucedido, ponderado pela probabilidade de sucesso. O setor público procura maximizar o retorno social esperado, ao passo que o setor privado busca maximizar o retorno privado esperado.

Abstraindo-se as preocupações sobre o deslocamento de recursos privados, as agências de fomento poderiam simplesmente buscar selecionar os projetos em posição mais elevada possível no diagrama, uma vez que estes refletem os maiores retornos sociais. Do ponto de vista do setor privado, as propostas que se encontram mais à direita (maiores retornos privados) têm, *ceteris paribus*, maior probabilidade de obter financiamento. Obviamente, a possibilidade de financiamento privado de qualquer projeto um particular dependerá de seu grau de risco e do ambiente financeiro dos proponentes. Embora seja uma grande simplificação, para as finalidades da discussão dividiram-se os projetos arbitrariamente em três grupos: perspectiva comercial “alta”, que são passíveis de financiamento adequado pelo setor privado; perspectiva comercial “média”, são aqueles em que o financiamento é menos provável ou disponível em níveis insuficientes; e perspectiva comercial “baixa”.

⁴⁶ Deve-se destacar que existem outros fatores que podem provocar a falta de financiamento privado para projetos de alto retorno social. Em particular, imperfeições nos mercados de capitais podem fazer com que fatores financeiros venham a impedir esforços de P&D desejáveis da perspectiva social. De fato, as evidências sugerem que os investimentos em P&D das pequenas empresas, por exemplo, são limitados pelos seus fluxos internos de caixa [vide, p.ex., Himmelberg e Petersen (1994)]. Pela mesma lógica, fomentar projetos em que estes outros fatores estejam presentes também renderiam bons resultados do ponto de vista social.

Figura 4 – Relações entre retorno privado, retorno social e hiato de transbordamento



Fonte: Jaffe (1998)

Todos os projetos acima da linha de 45°, neste caso A, B e C, geram transbordamentos, ou seja, a taxa de retorno social excede a taxa de retorno privado da P&D. Se a agência de fomento objetiva escolher propostas com a maior taxa de retorno social, então o projeto C seria o primeiro candidato a financiamento. Entretanto, é provável que C seja financiado pelo setor privado, ao passo que A e B não o sejam, ou se realizem a níveis inadequados. Se a agência de fomento ordenar as propostas com base no hiato de transbordamento, então os projetos A e B poderiam ser favorecidos em relação ao C. Em síntese, se a meta do setor público consiste em gerar retornos elevados a partir de projetos que de outra forma não obteriam suporte financeiro desejável, neste caso seria melhor basear-se no hiato de transbordamento a despeito da taxa de retorno social absoluta.

Para se ter claro a utilidade deste critério para seleção de projetos de pesquisa, considere-se, ainda, a proposta D da figura acima. Este projeto hipotético engendra altas taxas de retorno social e privado, porém o transbordamento líquido é negativo. Como se discutiu no capítulo 2, este poderia ser o prospecto para um medicamento como o Zantac que, embora extremamente bem-sucedido comercialmente, expulsa uma tecnologia substituta relacionada. No caso da opção pelo ordenamento das propostas considerando-se apenas as taxas de retorno absolutas, este projeto poderia ocupar uma posição mais elevada do que a proposta A, em que pese o fato de sua taxa de retorno privado exceder a taxa social. Do ponto de vista social, não seria lícito, entretanto, que o setor público apoiasse tal projeto, uma vez que o efeito líquido para todas as partes, com exceção da firma executora, seria negativo.

As questões envolvidas com o risco do negócio e a comercialização da inovação suscitam considerações adicionais. Se a agência de fomento ordenasse os projetos baseando-se no critério do hiato de transbordamento, as propostas A e B seriam, igualmente, as mais atrativas. Note, porém, que o projeto A aponta para um significativo retorno social, mas o retorno privado é muito baixo. Uma vez que o tamanho do mercado, a probabilidade de sucesso e outros fatores tendem a afetar tanto o retorno privado quanto o social, projetos tal como o A ocorrerão somente nos casos em que haja particularmente grandes problemas de apropriação dos retornos, levando a um amplo hiato de transbordamento e baixo retorno privado. Nesta situação, considera-se discutível qual a melhor ação a ser implementada pela agência de fomento.

Existe, como notado, um expressivo hiato de transbordamento, bem como um reduzido risco de deslocamento de fundos privados, de tal forma que, aparentemente, o qualifica como um bom projeto a ser financiado. A qualificação que deve ser feita repousa na premissa, observada acima, de que a realização dos benefícios advindos dos esforços de P&D dependerão em grande medida da comercialização bem-sucedida da tecnologia. Projetos como o A com perspectivas comerciais reduzidas provavelmente não serão comercializados, mesmo se os requisitos técnicos fossem solucionados. Portanto, o perigo em se financiar projetos deste tipo consiste no fato de que poucos benefícios de transbordamentos realmente serão alcançados, porque a comercialização efetiva possivelmente nunca ocorrerá. Desta forma, projetos como o B, que indicam um hiato de transbordamento significativo mas também apontam para algum retorno

privado considerável, poderiam ser os candidatos mais apropriados para o apoio financeiro da agência de fomento.

Em princípio, firmas que procuram maximizar seus lucros e sejam obrigadas a ratear os custos com a agência de fomento provavelmente não apresentarão propostas como a A. Na medida em que a divisão de custos efetivamente onere a empresa, e que se possa confiar que os proponentes realmente procurem maximizar seus lucros, a agência poderia até ignorar o perigo de pontos como o A em seu processo de decisão, buscando maximizar o hiato de transbordamento, e contando que os proponentes descartarão propostas para as quais o retorno privado seja tão baixo que a comercialização tornar-se-ia impraticável mesmo se a questão tecnológica fosse resolvida. Por outro lado, na medida em que não se possa confiar que as empresas, por si mesmas, descartarão projetos como o A, a agência deveria preocupar-se em selecionar propostas que envolvam, simultaneamente, grandes hiatos de transbordamento e retornos privados esperados suficientes para concretizar a comercialização da tecnologia.

Esta discussão é importante porque, mantendo-se constante o tamanho do mercado para o produto em potencial, os fatores que inibem a habilidade dos inovadores para proteger suas inovações concomitantemente elevam o hiato de transbordamento e reduzem o retorno privado. Assim, como discutido acima, considera-se mais provável que um proponente que tenha condições de produzir e comercializar um produto com sucesso consiga se apropriar dos retornos do que aquele que tenha que licenciar a tecnologia para outros ou mesmo torne-se um concorrente em um mercado onde não tenha uma presença histórica marcante. Do ponto de vista da análise dos transbordamentos, a falta de capacidade do proponente para produzir e comercializar a inovação deveria aumentar o interesse da agência pelo projeto (tudo o mais constante), uma vez que este fato amplia a possibilidade de transbordamentos. Em contrapartida, estas mesmas limitações podem tornar a probabilidade de comercialização tão baixa ao ponto de não justificar o envolvimento da agência de fomento, a despeito do transbordamento em potencial.

Não existe uma forma de eliminar este dilema, mas o seu reconhecimento e a separação dos elementos referentes ao potencial de transbordamento e ao risco do negócio podem

facilitar melhores decisões. Na avaliação dos riscos do negócio e da probabilidade de comercialização bem-sucedida, é lícito assumir que os fatores que ressaltem a habilidade do proponente em se apropriar dos retornos da inovação, tais como planos de proteger a invenção via patentes, ou a existência de canais de *marketing* bem constituídos, sejam considerados como pontos positivos. No que se refere à avaliação dos transbordamentos, porém, considera-se igualmente apropriado que a possibilidade de patentear o resultado da pesquisa, ou a presença de outros mecanismos de apropriação, venha a ser considerada como um fator negativo na determinação da extensão e probabilidade dos transbordamentos.

Em todo caso, a decisão final de suporte financeiro da agência será dependente destas considerações dentro do contexto geral da proposta. Por exemplo, para um projeto cujo resultado direto seja passível de patenteamento, a agência ainda assim poderia avaliar que o potencial de transbordamento seja significativo, se existirem outros elementos apontando para este resultado, como, por exemplo, uma tecnologia com fortes atributos genéricos. Na ausência de outros indicadores de transbordamento, entretanto, um projeto cujos resultados sejam facilmente patenteáveis deveria ser visto como de baixo potencial de transbordamento e, portanto, de baixa prioridade de financiamento.

Por outro lado, nos casos em que a proteção patentária efetiva seja improvável, isto é um indicador de grande potencial de transbordamentos. Se este indicador, em conjunto com outros aspectos da tecnologia, permita concluir que se trata de um caso cujo potencial de transbordamento é elevado, então a decisão de financiamento poderia voltar-se, a despeito da falha de proteção patentária, para a avaliação de em que medida os outros aspectos do projeto ou do proponente proporcionem as bases para concluir que o risco do negócio seja administrável e que a comercialização bem-sucedida seja factível. Se assim o for, então a proposta possui um bom prospecto de financiamento; se não, deveria receber baixa prioridade, dada a ausência de mecanismos de comercialização.



CONCLUSÃO

Existe uma série de falhas de mercado associadas aos investimentos em P&D e um volume significativo de recursos públicos têm sido utilizados em programas para estimular as atividades inovativas. Este trabalho procurou explorar o conhecimento econômico sobre o fenômeno dos transbordamentos tecnológicos da P&D, e destacar a relevância deste conhecimento no contexto brasileiro, sobretudo para a *política tecnológica*. Adicionalmente, buscou-se aplicar um modelo simples destinado a investigar os efeitos dos esforços de pesquisa realizados por outras empresas sobre os resultados da pesquisa de uma empresa em particular.

Procurou-se demonstrar que a distribuição das patentes de uma empresa pelas classes de patentes proporciona uma caracterização conveniente da “posição tecnológica” das empresas, e esta pode ser utilizada nas análises de oportunidade tecnológica e dos efeitos de transbordamentos. A principal contribuição deste trabalho consiste na aplicação do teste para os efeitos das externalidades de conhecimentos para o caso brasileiro, utilizando-se os dados de patentes depositadas no INPI e as informações sobre os gastos em P&D por empresa (microdados) originárias da PINTEC.

Os resultados do exercício sugerem a existência de transbordamentos tecnológicos significativos na indústria brasileira. Com efeito, verificou-se que a produtividade da P&D de uma firma está diretamente relacionada tanto aos seus esforços internos de pesquisa quanto ao volume de recursos aplicados à P&D pelas empresas na vizinhança tecnológica, independentemente da magnitude dos gastos em P&D intramuros. Estas tendências permanecem após controlada a possibilidade de que as áreas tecnológicas estejam associadas às variações na produtividade da P&D. Estes resultados podem ser interpretados como uma demonstração dos efeitos das externalidades dos gastos em P&D, ou seja, o sucesso inovativo dos “vizinhos” tecnológicos pode tornar mais fácil para a empresa atingir os seus próprios objetivos tecnológicos.

Há algumas limitações importantes desta metodologia que devem, ainda, ser apontadas. Em primeiro lugar, devido à natureza do trabalho, alguns detalhes importantes podem passar despercebidos. Os resultados referem-se às afirmações sobre o setor manufatureiro, na média; a expressão dos transbordamentos certamente é variável entre os setores da economia. Para o entendimento dos padrões do progresso tecnológico, e a complexa interação entre a tecnologia e as estruturas de mercado, estes detalhes são importantes. A média ampla, porém, também é útil. No que se refere à política pública, considera-se extremamente difícil implementar políticas de P&D setoriais específicas. Geralmente, faz-se uso de subsídios ou incentivos fiscais (explícitos ou implícitos) gerais para a P&D. Muitos governos encorajam a P&D baseados em argumentos teóricos ou evidências frágeis de que seus benefícios sociais ultrapassam os retornos privados. Procurou-se demonstrar que isto é, na média, verdadeiro para o setor manufatureiro no Brasil.

Por fim, uma limitação importante deste trabalho foi a de ignorar as relações internacionais. Em um modelo mais geral, poder-se-ia conjecturar que os fluxos de transbordamentos dependessem da proximidade tecnológica e geográfica. A existência de uma significativa atividade patentária por firmas estrangeiras no Brasil e a identificação da origem do depositante nas bases de dados de patentes transformam este tema em um campo potencial para futuras pesquisas.

Em particular, cabe destacar que os resultados dos testes aqui realizados suscitam implicações relevantes para a política industrial e tecnológica. No intuito de alcançar seus objetivos estratégicos, as agências de fomento deveriam tentar determinar quais dos projetos propostos gerarão os maiores transbordamentos tecnológicos. Os estudos aqui citados e analisados permitiram identificar uma série de características do ambiente tecnológico e de mercado que tendem a estar associadas com a magnitude dos transbordamentos. Através da incorporação de uma análise explícita destes fatores seja na escolha de projetos ou na avaliação de seus impactos, a agência de fomento pode tomar melhores decisões, a fim de que a política atinja plenamente suas estratégias e objetivos sociais. Neste sentido, os principais aspectos a serem considerados são:

- os atributos da tecnologia que permitam considerá-la como facilitadora de novos desenvolvimentos tecnológicos subsequentes: tecnologias genéricas ou de múltipla utilização, tecnologia *pathbreaking*, e tecnologia industrial básica;
- o grau de competição no(s) mercado(s) em que a inovação será comercializada;
- a influência dos canais de distribuição, *marketing*, serviços pós-vendas, experiência com agências regulatórias e outros ativos co-especializados na determinação da capacidade da empresa para capturar os retornos da inovação;
- o papel da defasagem de imitação e das curvas de aprendizado em conferir vantagens às empresas para se apropriarem de uma grande fração dos benefícios gerados pela suas inovações;
- a presença de externalidades de redes, que podem surgir quando o valor comercial de uma nova tecnologia é extremamente dependente do desenvolvimento de uma série de tecnologias relacionadas;
- a probabilidade de transbordamentos negativos devido à obsolescência dos investimentos prévios em P&D;
- a necessidade de licenciamento para a comercialização bem-sucedida da tecnologia;
- a eficácia dos instrumentos legais de propriedade intelectual para permitir a apropriação dos retornos da atividade inovativa.

Cabe assinalar que todos estes condicionantes são uma questão de grau, e aplicam-se em sentido relativo, “tudo o mais mantido constante”. Assume-se como inexequível a identificação de alguma característica em particular que definitivamente aponte ou exclua a existência de transbordamentos. Entretanto, a análise sistemática deste conjunto de determinantes pode proporcionar uma avaliação geral razoável das perspectivas de transbordamentos tecnológicos das propostas apresentadas.

A discussão ilustrou a necessidade de mais pesquisas sobre os mecanismos de transferência de conhecimento entre empresas. Análises estatísticas apenas apontam que algo está acontecendo; ainda fazem-se necessárias outras pesquisas mais detalhadas ao nível microeconômico para a compreensão da importância relativa de certas instituições e práticas de

gestão tecnológica. Neste sentido, a partir do exposto, é possível sugerir algumas áreas para pesquisas futuras: estudos que avaliem a eficácia relativa dos diferentes mecanismos de apropriação entre indústrias ou áreas tecnológicas; sobre o papel das forças de mercado e das estruturas de mercado na determinação da magnitude dos transbordamentos; sobre os atributos da tecnologia que afetem a magnitude dos transbordamentos; e, principalmente, estudos que avaliem os efeitos dos transbordamentos tecnológicos e os benefícios sócio-econômicos gerados pelos projetos apoiados pelas agências de fomento.

ANEXO

ANEXO 1, METODOLÓGICO

Para as propostas do estudo, os dados fundamentais referem-se às patentes e aos gastos em P&D. Os dados relacionados ao número de patentes por empresa e sua distribuição pelas classes de patentes (CIP), no Brasil, foram acessados a partir da base de dados privada Delphion⁴⁷. Os dados sobre os gastos em P&D por empresa, e a classificação industrial (CNAE) a 3 dígitos, foram obtidos a partir dos microdados da PINTEC/2000.

As empresas foram selecionadas levando-se em conta o depósito de patentes. Com efeito, utilizou-se como critério um mínimo de 2 patentes publicadas por residentes, entre 1999 e 2001. Há, aproximadamente, 420 empresas satisfazendo este princípio. Estas informações foram cotejadas com os dados da PINTEC. Como resultado, foram extraídas 172 empresas que reportaram gastos em P&D positivos em 2000.

A análise de regressão foi centrada em 2000, devido à disponibilidade de dados microeconômicos de P&D. A variável “patentes” consiste em uma média das patentes publicadas em 3 anos, a fim de afastar problemas de efeitos transitórios e aproximá-la dos valores de longo prazo. Para o agrupamento de empresas pela posição tecnológica foram utilizados os dados de patentes publicadas, no Brasil, em 10 anos (1992-2001), procurando-se conferir maior precisão acerca dos interesses de pesquisa das empresas envolvidas⁴⁸. A variável “P&D” está em R\$ milhões de 2000. Para a estimação, todas as variáveis, exceto as *dummies* para os *clusters* tecnológicos, foram tratadas como logaritmo, de modo que os coeficientes correspondem às elasticidades.

⁴⁷ Delphion é um serviço, via internet, para pesquisa e análise de patentes em termos globais. Sua base de dados inclui mais de 35 milhões de documentos provenientes de aproximadamente 70 escritórios de patentes ao redor do mundo, incluindo USPTO (*United States Patent Office*), EPO (*European Patent Office*), Japão e WIPO (*World Intellectual Property Organization*). Para maiores informações, acessar <http://www.delphion.com>.

⁴⁸ Para o total da amostra de empresas selecionadas, corresponde a, aproximadamente, 10.000 patentes.

ANEXO 2. Resumo dos *clusters* tecnológicos das empresas da amostra

Clusters Tecnológicos

	Patentes ^a	Empresas
ANÁLISE-MENSURAÇÃO-CONTROLE	46	8
APARELHOS AGRIC E ALIMENTAÇÃO	162	10
AUDIOVISUAL	17	2
COMPONENTES ELÉTRICOS	600	10
COMPONENTES MECÂNICOS	355	9
CONSTRUÇÃO CIVIL	527	13
CONSUMO DAS FAMÍLIAS	632	28
ENGENHARIA MÉDICA	756	6
ESPACIAL-ARMAMENTO	12	1
FARMACÊUTICA-COSMÉTICOS	45	6
INFORMÁTICA	37	4
MANUTENÇÃO-GRÁFICA	125	15
MÁQUINAS-FERRAMENTAS	19	2
MATERIAIS-METALURGIA	626	11
MOTORES-BOMBAS-TURBINAS	186	4
ÓTICA	26	1
PROCEDIMENTOS TÉCNICOS	9	1
PROCEDIMENTOS TÉRMICOS	264	5
PROD AGRIC E ALIMENTARES	370	2
QUÍMICA DE BASE	980	3
QUÍMICA MACROMOLECULAR	300	5
QUÍMICA ORGÂNICA	1.097	5
TELECOMUNICAÇÕES	2.221	5
TRABALHOS MATERIAIS	15	2
TRANSPORTES	550	10
TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES	29	4
TOTAL	10.006	172

^a baseado em todas as patentes publicadas entre 1992 e 2001.

ANEXO 3. Classificação dos domínios tecnológicos

Domínios Tecnológicos	Sub-Domínios Tecnológicos	Códigos CIP (Classificação Internacional de Patentes)
Eletrônica-Eletricidade	Componentes Elétricos	f21 ; g05f ; h01b ; h01c ; h01f ; h01g ; h01h ; h01j ; h01k ; h01m ; h01r ; h01t ; h02 ; h05b ; h05c ; h05f ; h05k
	Audio-visual	g09f ; g09g ; g11b ; h03f ; h03g ; h03j ; h04n ; h04r ; h04s
	Telecomunicações	g08c ; h01p ; h01q ; h03b ; h03c ; h03d ; h03h ; h03k ; h03l ; h03m ; h04b ; h04h ; h04j ; h04k ; h04l ; h04m ; h04q
	Informática	g06 ; g11c ; g10l
	Semi-condutores	h01l
Instrumentação	Ótica	g02 ; g03 ; h01s
	Análise-Mensuração-Controlé	g01b ; g01c ; g01d ; g01f ; g01g ; g01h ; g01j ; g01k ; g01l ; g01m ; g01n ; g01p ; g01r ; g01s ; g01v ; g01w ; g04 ; g05b ; g05d ; g07 ; g08b ; g08g ; g09b ; g09c ; g09d ; g12
	Engenharia Médica	a61b ; a61c ; a61d ; a61f ; a61g ; a61h ; a61j ; a61l ; a61m ; a61n
Química Fina-Farmacêutica	Química Orgânica	c07c ; c07d ; c07f ; c07h ; c07j ; c07k
	Química Macromolecular	c08b ; c08f ; c08g ; c08h ; c08k ; c08l ; c09d ; c09j
	Farmacêuticos-Cosméticos	a61k
	Biotechnologia	c07g ; c12m ; c12n ; c12p ; c12q ; c12s
Produtos Agrícolas e Alimentares	Produtos Agrícolas e Alimentares	a01h ; a21d ; a23b ; a23c ; a23d ; a23f ; a23g ; a23j ; a23k ; a23l ; c12c ; c12f ; c12g ; c12h ; c12j ; c13d ; c13f ; c13j ; c13k
	Procedimentos Químicos de base-Metalurgia	b01 ; b02c ; b03 ; b04 ; b05b ; b06 ; b07 ; b08 ; f25j ; f26
	Tratamento de Superfícies	b05c ; b05d ; b32 ; c23 ; c25 ; c30
	Trabalho com Materiais	a41h ; a43d ; a46d ; b28 ; b29 ; b31 ; c03b ; c08j ; c14 ; d01 ; d02 ; d03 ; d04b ; d04c ; d04g ; d04h ; d06b ; d06c ; d06g ; d06h ; d06j ; d06l ; d06m ; d06p ; d06q ; d21
	Materiais-Metalurgia	c01 ; c03c ; c04 ; c21 ; c22 ; b22
	Procedimentos Térmicos	f22 ; f23b ; f23c ; f23d ; f23h ; f23k ; f23l ; f23m ; f23n ; f23q ; f24 ; f25b ; f25c ; f27 ; f28
Química de Base	Química de Base	a01n ; c05 ; c07b ; c08c ; c09b ; c09c ; c09f ; c09g ; c09h ; c09k ; c10b ; c10c ; c10f ; c10g ; c10h ; c10j ; c10k ; c10l ; c10m ; c11b ; c11c ; c11d
	Meio Ambiente-Poluição	a62d ; b09 ; c02 ; f01n ; f23g ; f23j
	Máquinas-Mecânica-Transportes	b21 ; b23 ; b24 ; b26d ; b26f ; b27 ; b30
Máquinas-Mecânica-Transportes	Máquinas-Ferramentas	b21 ; b23 ; b24 ; b26d ; b26f ; b27 ; b30
	Motores-Bombas-Turbinas	f01b ; f01c ; f01d ; f01k ; f01l ; f01m ; f01p ; f02 ; f03 ; f04 ; f23r
	Componentes Mecânicos	f15 ; f16 ; f17 ; g05g
	Manutenção-Gráfica	b25j ; b41 ; b65b ; b65c ; b25d ; b25f ; b25g ; b25h ; b66 ; b67
	Aparelhos Agrícolas e Alimentares	a01b ; a01c ; a01d ; a01f ; a01g ; a01j ; a01k ; a01l ; a01m ; a21b ; a21c ; a22 ; a23n ; a23p ; b02b ; c12l ; c13c ; c13g ; c13h
Transportes	Transportes	b60 ; b61 ; b62 ; b63b ; b63c ; b63h ; b63j ; b64b ; b64c ; b64d ; b64f
	Técnicas Nucleares	g01t ; g21 ; h05g ; h05h
	Espacial-Armamentos	b63g ; b64g ; c06 ; f41 ; f42
Consumo das Famílias-Construção Civil	Consumo das Famílias	a24 ; a41b ; a41c ; a41d ; a41f ; a41g ; a42 ; a43b ; a43c ; a44 ; a45 ; a46b ; a47 ; a62b ; a62c ; a63 ; b25b ; b25c ; b25d ; b25f ; b25g ; b25h ; b26b ; b42 ; b43 ; b44 ; b68 ; d04d ; d06f ; d06n ; d07 ; f25d ; g10b ; g10c ; g10d ; g10f ; g10g ; g10h ; g10k
	Construção Civil	e01 ; e02 ; e03 ; e04 ; e05 ; e06 ; e21

Fonte: OST (1996)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, J.D. e JAFFE, A.B. On the Microeconomics of R&D Spillovers. In: Lefebvre, L.A. e Lefebvre, E., (eds.) **Management of Technology and Regional Development in a Global Environment**, Paul Chapman Publishing Ltd., 1995.

ADAMS, J.D. e JAFFE, A.B. Bounding the Effects of R&D: an investigation using matched establishment firm data. **RAND Journal of Economics**, 27, p.700-721, 1996.

ARCHIBUGI, D. Patenting as an Indicator of Technological Innovation: a review. **Science and Public Policy**, 19-6, p. 357-368, 1992.

AUDRETSCH, D. e FELDMAN, M. R&D Spillovers and the Geography of Innovation and Production. **American Economic Review**, 86(3), p.630-640, 1996.

BASBERG, B.L. Patents and the Measurement of Technological Change: a survey of the literature. **Research Policy**, 16, p. 131-141, 1987.

BERNDT, E., BUI, L., REILEY, D., URBAN, G. The Roles of Marketing, Product Quality and Price Competition in the Growth and Composition on the U. S. Anti-Ulcer Drug Industry. **NBER Working Paper**, n.4904, 1994.

BERNSTEIN, J.I. e NADIRI, M.I. Product Demand, Cost of Production, Spillovers, and the Social Rate of Return to R&D. **NBER Working Paper**, n. 3625, 1991.

BRANSCOMB, L. M., ALIC, J., BROOKS, H., CARTER, A., EPSTEIN, G. **Beyond Spinoff: Military and Commercial Technologies in a Changing World**. Boston, Harvard Business School Press, 1992.

BRESCHI, S. e MALERBA, F. The Geography of Innovation and Economic Clustering: some introductory notes. **Industrial and Corporate Change**, 10 (4), p.817-833, dez., 2001.

BRESNAHAN, T. Measuring the Spillovers from Technical Advance: Mainframe Computers in Financial Services. **American Economic Review**, 76, p. 741-755, set., 1986.

BRESNAHAN, T. e GORDON, R. (eds.) **The Economics of New Goods**. Chicago, The University of Chicago Press/NBER, 1997.

DOSI, G. Technological Paradigms and Technological Trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, 2 (3), 1982.

DOSI, G. **Technical Change and Industrial Transformation**. London: Macmillan, 1984.

ECONOMIDES, N. e SALOP, S.C. Competition and Integration Among Complements, and Network Market Structure. **Journal of Industrial Economics**, v.XL, n.1, p.105-123, mar., 1992.

EVERITT, B. **Cluster Analysis**. 2ed., Gower Publishing, 1980.

FINANCIADORA de Estudos e Projetos (FINEP). **Políticas Operacionais**. Rio de Janeiro, FINEP, 2002.

GOTO, A. e SUZUKI, K. R&D Capital, Rate of Return on R&D Investment and Spillover of R&D in Japanese Manufacturing Industries. **Review of Economics and Statistics**, v. 71, n.3, p. 731-753, 1989.

GRILICHES, Z. Issues in Assessing the Contribution of R&D to Productivity Growth. **Bell Journal of Economics**, 10, p.92-116, set., 1979.

_____. Patent Statistics as Economic Indicators: a survey. **Journal of Economic Literature**, XXVIII, p.1661-1707, 1990.

_____. The Search for R&D Spillovers. **NBER Working Paper**, n.3768, 1991.

HALL, B., GRILICHES, Z., HAUSMAN, J. Patents and R&D: Searching for a Lag Structure. **NBER Working Paper**, n1227, 1983.

HIMMELBERG, C. e PETERSEN, B. R&D and Internal Finance. A Panel Study of Small Firms in High-Tech Industries. **Review of Economics and Statistics**, v.76(1), p.38-51, 1994.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Industrial – Inovação Tecnológica (PINTEC 2000)**. Rio de Janeiro, IBGE, 2002.

JAFFE, A. B. **Quantifying the Effects of Technological Opportunity and Research Spillovers in Industrial Innovations**. Cambridge, 1985, Dissertação (Tese de Doutorado), Harvard University.

_____. Technological Opportunity and Spillovers of R&D. **American Economic Review**, 76, p. 984-1001, dez., 1986.

_____. Real Effects of Academic Research. **American Economic Review**, 79, p.957-970, 1989.

_____. The Importance of “Spillovers” in the Policy Mission of the Advanced Technology Program. **Journal of Technology Transfer**, v.23(2), p.11-19, 1998.

- JAFFE, A.B., TRAJTENBERG, M. e HENDERSON, R. Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations. **Quarterly Journal of Economics**, 108, p.577-598, 1993.
- JAFFE, A.B. e TRAJTENBERG, M. International Knowledge Flows: Evidence from Patent Citations. **Economics of Innovation & New Technology**, 8 (1-2), p.105-136, 1999.
- KATZ, M. e SHAPIRO, C. Systems Competition and Network Effects. **Journal of Economic Perspectives**, v.8, n.2, p.93-115, 1994.
- KLETTE, T. e MOEN, J. From Growth Theory to Technology Policy – coordination problems in theory and practice. **Nordic Journal of Political Economy**, 25, p.53-74, 1999.
- KRUGMAN, P. **Geography and Trade**. Cambridge, MIT Press, 1991.
- LEAHY, D. e NEARY, J. Public Policy Towards R&D in Oligopolistic Industries. **American Economic Review**, 87, p.642-662, 1997.
- LEVIN, R.C., KLEVORICK, A., NELSON, R., WINTER, S. Appropriating the Returns from Industrial Research and Development. **Brookings Papers on Economic Activity**, 3, p. 783-820, 1987.
- MALERBA e ORSENIGO. Technological Regimes and Firm Behaviour. In: Dosi, G. e Malerba, F. (eds.) **Organization and Strategy in the Evolution of the Enterprise**. London: Macmillan Press, 1996.
- MANSFIELD, E., RAPOPORT, J., ROMEO, A., WAGNER S., BEARDSLEY, G. Social and Private Rates of Return from Industrial Innovations. **Quarterly Journal of Economics**, 77, p. 221-240, 1977.
- MANSFIELD, E., SCHWARTZ, M. e WAGNER, S. Imitation Costs and Patents: An Empirical Study. **Economic Journal**, v.91, p.907-918, 1981.
- NADIRI, M.I. Innovations and Technological Spillovers. **NBER Working Paper**, n.4423, 1993.
- NELSON, R. e WINTER, S. **An Evolutionary Theory of Economic Change**. Cambridge: Belknap Press of Harvard University Press, 1982.
- OBSERVATOIRE des Sciences et des Techniques (OST). **Science & Technologie Indicateurs – 1996**. Paris, Economica, 1996.
- PAKES, A., GRILICHES, Z. Patents and R&D at the Firm Level: a First Look. In: Griliches, Z. (ed.) **R&D, Patents and Productivity**. Chicago, University of Chicago Press, 1984.
- PAVITT, K. Patent Statistics as Indicator of Innovative Activities: possibilities and problems. **Scientometrics**, 7, p. 77-99, 1985.

ROSENBERG, N. **Inside the Black Box: Technology and Economics**. Cambridge, Cambridge University Press, 1983.

SCHERER, F. M. Interindustry Technology Flows and Productivity Growth. **Review of Economics and Statistics**, LXIV, p.627-634, 1982.

_____. Using Linked Patent and R&D Data to Measure Interindustry Technology Flows. In: Griliches, Z.(ed.). **R&D, Patents and Productivity**. Chicago, University of Chicago Press, 1984.

SCHMOOKLER, J. **Invention and Economic Growth**. Cambridge, Harvard University Press, 1966.

SUZIGAN, W., FURTADO, J., GARCIA, R., ROSELINO, J. **Inovação e Difusão Tecnológica em Sistemas Produtivos Locais: evidências e sugestões de políticas**. Relatório de pesquisa do projeto "Perspectivas de Reestruturação das Políticas de Financiamento do Desenvolvimento Tecnológico no Brasil". Convênio FINEP/FUNDAP n.64-00-0284-00. Campinas, ago., 2001.

SVEIKAUSAS, L. Technology Inputs and Multifactor Productivity Growth. **Review of Economics and Statistics**, v.63, p. 275-282, 1981.

TASSEY, G. Technology and Economic Growth: Implications for Federal Policy. **Planning Report/National Institute of Standards and Technology**, n.3, 1995.

TEECE, D. Profiting from Technological Innovation: Implications for Integration, Collaboration, Licensing and Public Policy. **Research Policy**, 15, p. 285-305, 1986.

TEECE, D. Strategies for Capturing the Financial Benefits from Technological Innovation. In: ROSENBERG, N., LANDAU, R. e MOWERY, D.(eds.) **Technology and the Wealth of Nations**. Stanford University Press, 1992.

TERLECKYJ, N. **Effects of R&D on the Productivity Growth of Industries: An Exploratory Study**. Washington, National Planning Association, 1974.

TRAJTENBERG, M. The Welfare Analysis of Product Innovations, with an Application to Computer Tomography Scanners. **Journal of Political Economy**, 97, p.444-479, 1989.

WOLFF, E. e NADIRI, M.I. Spillover Effects, Linkage Structure, Technical Progress and Research and Development. **C.V. Starr Centre Research Report**, n.87-43, 1987.