

## Pesquisa e inovação em saúde: uma discussão a partir da literatura sobre economia da tecnologia

Research and innovation in health:  
an interpretation based on the economics  
of technology

Eduardo da Motta e Albuquerque <sup>1</sup>  
Sara Gonçalves Antunes de Souza <sup>2</sup>  
Adriano Ricardo Baessa <sup>3</sup>

**Abstract** *This paper discusses the main features of health innovation systems in developed countries as a starting point for the discussion of the Brazilian case. The strategic importance of innovation in the health sector is pinpointed, highlighting the interactions between scientific research and innovation. The mutual reinforcing influence between the formation of the innovation system and the welfare institutions is an important specificity of the health sector. In the Brazilian case, the strengthening of the institutions of the health innovation system is a precondition for the overcoming of the combined backwardness in the social and in the technological dimensions.*

**Key words** *Health innovation system, Technological progress, Interaction between science and technology*

**Resumo** *O artigo avalia as características principais dos sistemas de inovação do setor saúde de países avançados como uma introdução para a discussão dos desafios e potencialidades do caso brasileiro. A importância estratégica da inovação em saúde é enfatizada, indicando tanto as interações entre a pesquisa científica e as inovações no setor como as múltiplas influências entre a construção de um efetivo sistema de inovação no setor saúde e a economia. No caso brasileiro, em que o atraso tecnológico coexiste com o atraso social, a superação de ambos passa pelo fortalecimento das instituições do sistema de inovação do setor saúde.*  
**Palavras-chave** *Sistema de inovação em saúde, Progresso tecnológico, Interações entre ciência e tecnologia*

---

<sup>1</sup> Cedeplar, UFMG.  
Rua Curitiba 832  
sala 809. 30170-120  
Belo Horizonte MG.  
albuquer@cedeplar.ufmg.br

<sup>2</sup> Faculdade de Economia,  
Unimontes.

<sup>3</sup> DCP, UFMG  
e Cedeplar, UFMG.

## Introdução

As atividades inovadoras no setor saúde caracterizam-se por uma forte interação com o setor científico. Por um lado, a infra-estrutura científica é origem de um fluxo de informações que apóia o surgimento de inovações que afetam a prática médica e a saúde: em linhas gerais, novos medicamentos, novos equipamentos, novos procedimentos clínicos, novas medidas profiláticas e novas informações. Por outro, a prática médica e a atuação do setor saúde em geral são origens de um fluxo de informações inverso e constitui-se em um enorme e crescente repositório de questões, achados empíricos e práticas bem-sucedidas que precisam ser explicadas e compreendidas.

A experiência dos países mais ricos (renda *per capita* e indicadores de desenvolvimento humano mais elevados) é apresentada neste artigo como resultado da construção de dois arranjos institucionais distintos mas articulados: sistemas nacionais de inovação (para impulsionar o progresso tecnológico que sustenta o crescimento e a riqueza das nações); e sistemas de bem-estar social (para ampliar a qualidade de vida das populações e mitigar a desigualdade social). O setor saúde tem uma posição *sui generis* nesse caso, pois constitui um vínculo entre esses dois arranjos institucionais. Por isso, avanços gerados no setor do sistema de inovação têm importantes implicações para o conjunto da economia e da sociedade: além dos impactos econômicos diretos gerados por qualquer atividade inovadora, tais iniciativas no setor saúde têm também impacto direto sobre a qualidade de vida da população, que por sua vez tem repercussões sobre a capacidade produtiva do país.

Adotando como referência a literatura sobre economia da tecnologia, este artigo avalia as características principais dos arranjos institucionais dos países avançados como uma introdução para a discussão dos desafios e potencialidades do caso brasileiro. A importância estratégica da inovação em saúde é enfatizada, indicando tanto as interações entre a pesquisa científica e as inovações no setor como as múltiplas influências (diretas e indiretas) entre a construção de um efetivo sistema de inovação no setor saúde e a economia. Há um papel potencial para o setor no interior de um conjunto de políticas voltadas para a retomada do crescimento econômico. Em especial para o caso brasileiro em que o atraso tecnológico coexiste com

o atraso social: a superação de ambos passa pelo fortalecimento das instituições do sistema de inovação do setor saúde.

Este artigo está organizado em cinco seções. A primeira apresenta as relações entre pesquisa e inovação no setor saúde de uma forma geral. A segunda seção discute as relações entre custo e inovações técnicas no setor. A terceira resenha o papel e a estrutura básica dos sistemas de inovação do setor saúde nas economias desenvolvidas. A quarta seção caracteriza as desigualdades e descompassos no cenário internacional, como uma introdução às particularidades do caso brasileiro. E a quinta seção discute o caso brasileiro, tentando identificar o estágio de construção do sistema de inovação em geral e do setor saúde em especial, de forma a identificar desafios e oportunidades. Finalmente, a conclusão encerra o artigo com algumas sugestões para o caso brasileiro.

## Aspectos históricos das relações entre pesquisa e inovação em saúde

A história da medicina é uma interessante introdução à discussão sobre as relações contemporâneas entre pesquisa e inovação em saúde. Um relato como o apresentado por Porter (1998) destaca a longa e penosa acumulação de conhecimentos, as descontinuidades e rupturas existentes na compreensão dos fenômenos relacionados à saúde e à doença, os inúmeros fracassos e achados desperdiçados. Destaca-se, ainda, um certo paradoxo: a existência de curas encontradas mas não compreendidas e avanços no conhecimento sem qualquer reflexo imediato na melhora das práticas médicas. Não é um processo linear. Possivelmente, o trabalho dos historiadores da medicina contribuiu para compreender raízes históricas dos arranjos institucionais que sustentam a atividade científica e inovadora em saúde.

O “nascimento da medicina como saber científico autônomo”, associado à obra de Hipócrates (Reale & Antisseri, 1986), é parte do legado da civilização grega clássica. A evolução do esforço científico humano pode ser acompanhado pelas formas novas como o corpo humano é examinado e investigado. A medicina reflete as metamorfoses do empreendimento científico ao longo do tempo (Porter, 1998). A descrição da anatomia humana por Vessálio é um produto da Renascença e do fim da interdição da dissecação do corpo humano. A descoberta

da circulação por Harvey demonstra o caráter cumulativo do conhecimento médico, pois pressupôs a compreensão da anatomia humana.

As trajetórias distintas da medicina francesa e alemã no século 19 oferecem dois caminhos distintos para a evolução do conhecimento. Caminhos que vão se encontrar de diversas formas nos arranjos institucionais construídos na segunda metade do século 20.

No caso francês, a medicina coloca o hospital como local do empreendimento científico (Porter, 1998): a Revolução Francesa retirou os hospitais do controle da Igreja, fazendo surgir a figura de profissionais assalariados em enormes hospitais públicos. Nesse novo quadro, *médicos de elite transformaram (os hospitais) em máquinas para a investigação científica de doenças e para o ensino ... de vastos contingentes de estudantes* (Porter, 1998). Segundo Porter, esse novo ambiente colocou para os hospitais novas prioridades: *os doutores revolucionários colocavam corpos na frente dos livros, valorizando a experiência prática adquirida através do exame incansável dos doentes e posteriormente de seus cadáveres*. Foi a era da anatomia patológica e de Bichat, da invenção do estetoscópio por Laënnec (instrumento indispensável para a prática médica mesmo em nossos tempos de equipamentos computadorizados) e uma nova compreensão das doenças pela auscultação. Ainda na França, mas fora dos hospitais, o século 19 testemunha a obra de Claude Bernard, que destacou duas grandes limitações da medicina hospitalar: o caráter passivo e o fato de lidar com doenças que envolvem muitos fatores imponderáveis para permitir a compreensão científica. Para Bernard, progresso científico demanda experimentos ativos em ambientes estritamente controlados (Porter, 1998). O resultado é o surgimento de um “triumvirato” da medicina experimental composto da fisiologia, patologia e farmacologia (Porter, 1998).

No caso alemão, o laboratório transformou-se no centro das atividades de descoberta (Porter, 1998). O laboratório do século 19 é uma novidade pela criação de uma *medicina científica distinta, baseada no microscópio, na viviseção, na investigação química e em tudo o mais que fosse possível medir, pesar e testar em seu ambiente controlado* (Porter, 1998). Nesse caso, comenta Porter, *o estetoscópio foi desafiado pelo microscópio, cujos aperfeiçoamentos deram lugar a uma nova disciplina, histologia, que se constituiu em uma ponte entre a anatomia e a patologia*. Hódskin e Virchow estão entre os personagens dessa fase.

Entretanto, apesar dos inúmeros avanços, Porter (1998) observa na conclusão de seu capítulo sobre a “atenção médica no século 19”: *o problema real estava no pouco que a medicina podia fazer em relação à doença e à morte prematura*.

No final do século 19, ocorre a revolução da bacteriologia. O químico Pasteur (Debré, 1994) e Koch são personagens dessa nova fase.

Revolução que tem uma importante novidade, como destaca Porter: *de forma pouco usual para a medicina, as novas teorias da doença levaram direta e rapidamente a novas medidas preventivas e a novos remédios genuinamente efetivos, salvando vidas em uma escala significativa*. As observações de um historiador da medicina – Porter – oferecem uma conexão com o trabalho de um historiador da tecnologia, Rosenberg. Para Rosenberg (1976), *o progresso na medicina teve de aguardar o desenvolvimento da ciência da bacteriologia*. Embora o nascimento da medicina “como saber científico autônomo” seja antigo, os efeitos do crescimento do conhecimento sobre a saúde humana podem ser identificados apenas a partir do final do século 19.

Por que esse efeito tão tardio? Uma razão pode estar na complexidade do tema saúde. De acordo com Rosenberg (1976), *o tempo e a seqüência do crescimento do conhecimento nessas disciplinas independentes são diretamente relacionados à complexidade de cada uma delas – assim como à complexidade da tecnologia da qual depende a pesquisa científica na disciplina*. Por isso, há uma certa seqüência no desenvolvimento das ciências (mecânica, química, eletricidade, biologia). Assim, para Rosenberg a complexidade dos fenômenos em investigação determina por que, apesar de tanto esforço ao longo dos séculos, *o progresso médico não foi responsável por qualquer redução significativa da mortalidade humana antes do século 20*. O Banco Mundial apresenta posição similar, mas retardando o efeito no século 20: *antes dos anos 30 a tecnologia médica tinha pouco a oferecer à humanidade* (World Bank, 1993).

Mas essa constatação não pode subestimar a importância do acumulado ao longo dos séculos anteriores, como pré-condição para os desenvolvimentos posteriores. Dada a complexidade do objeto, o grau de acumulação exigido é enorme. Além de exigir acumulação também em outras disciplinas como química, química orgânica, ótica etc. para a compreensão de questões básicas na medicina. A trajetória de pesquisas de Pasteur da fermentação à infecção re-

faz, de certa forma, essa trajetória em direção à maior complexidade. Como se sabe, o químico Pasteur começou as pesquisas com microorganismos na indústria da seda, posteriormente pesquisa nas indústrias vinícolas e de cerveja, para então assumir desafios no campo veterinário (carbúnculo de rebanhos) e no campo humano (raiva), quando articula bacteriologia e imunologia (Debré, 1994).

As grandes transições de paradigmas do conhecimento médico podem ser percebidas analisando-se uma doença conhecida pela humanidade há muito tempo: a malária (cujos parasitas acompanham a nossa espécie desde o começo). Descrita já na China antiga e no Egito clássico, conhecida pela medicina hipocrática, desde então foi explicada por diversas teorias (miasmas, contágio etc.) até a descoberta do parasita em 1880, a elucidação da participação do mosquito no ciclo da doença em 1898 e a comprovação da fase hepática em 1948. A partir daí, Bradley (1999) descreve as múltiplas fases da pesquisa sobre a malária: *o ciclo tem sido descrito em várias escalas: a morfologia microscópica foi seguida da descrição por microscópios eletrônicos ... e posteriormente uma revisita bioquímica do ciclo ocorreu, focalizando as mudanças no tempo. É evidente que o próximo nível de descrição será molecular, em particular com o seqüenciamento do DNA do parasita...* O grande avanço representado pelo recente seqüenciamento dos genomas do parasita e do vetor mais importante da malária não será revertido rapidamente para a prática médica. Gardner et al. (2002) destacam a riqueza de informação pela primeira vez, ponderando que *no curto prazo, entretanto, as seqüências do genoma oferecem pouco alívio àqueles que sofrem de malária.*

O trabalho de historiadores da medicina é pleno de exemplos de uma complexa e desigual relação entre ciência e inovação na saúde. Como discutido, por um lado, há casos do avanço do conhecimento científico determinando o aperfeiçoamento da prática médica: a contribuição de Pasteur e a emergência da bacteriologia. Mas, por outro lado, há exemplos da prática médica descobrindo de forma empírica o tratamento de algumas doenças, através de mecanismos posteriormente compreendidos: o tratamento do escorbuto através do consumo de frutas cítricas, a técnica de vacinação de Jenner, a eficácia do quinino contra a febre malárica (Porter, 1998).

Esse aspecto tem sido destacado por Rosenberg (1982) de uma forma geral: a tecnologia

constitui-se em um depósito de conhecimentos que antecedem a explicação científica (que, de certa forma, ajudam a moldar o empreendimento científico posterior).

A penicilina é um exemplo interessante. Em 1928, Flemming, a partir de estudos sobre estafilococos, descobre casualmente a destruição de colônias de bactérias pela ação de um fungo, descreve esse fenômeno em um artigo e nota que o extrato do fungo não é tóxico quando injetado em animais. No entanto pouca atenção foi dada pela comunidade científica. Dez anos depois, Florey e Chain se lançam em uma pesquisa de elementos antimicrobianos. Na revisão da literatura encontram o artigo de Flemming. Isolam o ingrediente ativo, caracterizam-no e demonstram o uso clínico (Porter, 1998). Esse trabalho científico (com investimentos públicos derivados do esforço de guerra dos Estados Unidos) foi suficiente para detonar uma importante revolução tecnológica na indústria farmacêutica (Henderson et al., 1999; Chandler, 1997). É importante destacar que o impacto da penicilina e de sua síntese sobre a indústria farmacêutica ocorre duas décadas antes da compreensão do mecanismo exato da ação do antibiótico: a inibição irreversível da enzima *glicopeptidase* foi descrita de forma independente em 1965 por Park e por Strominger (Stryer, 1999).

A compreensão científica de fenômenos conhecidos, por sua vez, pode impulsionar novos aperfeiçoamentos na prática médica e na capacidade de produção de inovações: um exemplo é a emergência da biologia molecular e as mudanças na indústria farmacêutica (Henderson et al., 1999).

Essa visão preliminar das complexas relações entre ciência e prática médica é necessária para uma avaliação inicial das relações entre saúde, conhecimento científico e melhorias nas condições de vida. Essas relações podem ser mais bem identificadas no “desvio ascendente” que o Relatório do Banco Mundial (World Bank, 1993) identifica na relação entre renda *per capita* e expectativa de vida no século 20. Um exemplo descrito nesse Relatório facilita a compreensão desse “desvio ascendente”. Em 1900, a expectativa de vida nos Estados Unidos era de 49 anos, correspondendo a uma renda *per capita* de US\$4.800,00, renda essa que em 1990 (valores devidamente ajustados) estaria associada a uma expectativa de vida de 71 anos. Assim, a relação entre renda e expectativa de vida pode ser estabelecida, mas uma ascensão

deve ser identificada: ao longo deste século, curvas diferentes descrevem a correlação entre renda e expectativa de vida para períodos diferentes.

Esse “desvio ascendente” sugere que há outros fatores operando entre o crescimento econômico e a saúde. Como o Relatório do Banco Mundial (1993) sintetiza, as “lições do passado” sobre a queda da mortalidade indicam que três fatores contribuem para explicar as quedas de mortalidade: a) aumento da renda *per capita*; b) avanços na tecnologia médica; c) o desenvolvimento da saúde pública e disseminação de conhecimentos.

Existem estudos que introduzem avaliações do impacto específico de gastos com pesquisas no setor saúde sobre o aperfeiçoamento do bem-estar social. Dois estudos podem ser indicados.

O primeiro estudo (Vehorn *et al.*, 1982) testou uma hipótese abrangente, buscando avaliar a contribuição da pesquisa biomédica sobre a “produção de saúde”. O resultado do estudo estatístico estimou que, no período 1900-1978, o crescimento de 1% no esforço de pesquisa na área biomédica determinava uma queda de 0,10% na taxa de mortalidade. Na conclusão, apresentam a avaliação da magnitude da redução da mortalidade que poderia ser atribuída à pesquisa biomédica: entre 23% e 48% do total. Esse resultado é interessante, pois é coerente com os dados apresentados pelo Banco Mundial, sintetizados no “desvio ascendente” da relação entre renda *per capita* e expectativa de vida. Ou seja, como insiste Amartya Sen (1999), o crescimento econômico é importante mas não explica tudo na ampliação da expectativa de vida.

O segundo estudo (Lichtenberg, 1998) pesquisou o impacto de gastos com P&D na indústria farmacêutica, entre 1970 e 1990, sobre a redução de mortalidade. Encontrou que nos dois períodos estudados (1970-1980 e 1980-1991) para doenças analisadas *havia uma relação positiva e altamente significativa entre o aumento na idade média ao morrer (que é relacionada de forma próxima com a expectativa de vida) e as taxas de introdução de novas drogas consideradas importantes pelo Food and Drugs Administration (FDA)* (Lichtenberg, 1998). Essas drogas novas ampliaram a expectativa de vida por cerca de 0,75% a 1% por ano. O estudo fundamentou a apresentação de estimativas de que gastos em P&D, totalizando US\$15 bilhões, teriam poupado 1,6 milhões de “anos de vida ajustados por incapacidade” (AVAI). O AVAI, um indicador absoluto do nível de saúde

de uma população, é apresentado em Murray & Lopez (1996).

As relações entre desenvolvimento tecnológico em geral e ganhos em termos de desenvolvimento humano estão também no Relatório sobre o desenvolvimento humano (UNDP, 2001). Entre essas relações, destacam-se novas tecnologias e disseminação de informações geradas pelo avanço científico e tecnológico do setor saúde. Para a UNDP, *avanços médicos como imunizações e antibióticos resultaram no século 20 em ganhos mais rápidos na América Latina e na Ásia Oriental do que os alcançados na Europa durante o século 19 através de nutrição e de saneamento melhores... Na década de 1970 a expectativa de vida nas duas regiões ultrapassou 60 anos, conseguindo em quatro décadas o que na Europa, começando em 1800, demorou um século e meio* (UNDP, 2001).

Porém, apesar de todos os avanços ao longo do século 20, desafios enormes ainda estão presentes. Como é discutido na seção “A grande desconexão entre a carga da doença e os investimentos em pesquisa”, a OMS caracteriza o cenário internacional a partir de uma dupla carga – “epidemias emergentes e problemas persistentes” (WHO, 1999) – e de uma enorme desigualdade.

### **Uma nota sobre relações entre progresso tecnológico e custos**

A dinâmica de inovação tecnológica no setor saúde tem sido considerada uma das razões para o crescimento dos gastos do setor. É verdade que um hospital moderno típico consome pesados investimentos na compra de equipamentos médicos caros. Porém, essa associação direta entre progresso tecnológico e altos gastos deve ser avaliada com mais cautela.

Weisbrod (1991) aponta evidências problematizando que as inovações tecnológicas sejam exclusivamente encarecedoras da assistência médica. Documento da OECD deixa em aberto essa questão, apresentando dúvidas *se as novas tecnologias são parte do problema, parte da solução, ou as duas coisas* (OECD, 1998).

Para avaliar esse ponto, Weisbrod compara vacinas e transplantes, seus custos, repercussões e respectivas demandas por inovações. Para explicitar sua posição, utiliza como ponto de partida a elaboração do biólogo Lewis Thomas, que distingue três estágios de desenvolvimento tecnológico na medicina: a) no nível mais bai-

xo, “não-tecnologia” (*nontechnology*), em que os vínculos entre o paciente e a doença são fracamente compreendidos – pouco pode ser feito pelo paciente, apenas a hospitalização e serviços de enfermagem, com pequena esperança de recuperação (câncer não-tratável, artrite reumatóide severa, esclerose múltipla, cirrose avançada); b) um pouco acima, “tecnologias intermediárias” (*halfway technology*), que incluiria lidar com a doença e com os seus efeitos incapacitantes depois de estabelecida – trata-se de tecnologias que ajustam o paciente à doença e adiam a morte (implantação de órgãos artificiais e transplante, tratamento de câncer por cirurgia, radiação e quimioterapia); c) “alta tecnologia”, exemplificada por imunização, antibióticos, prevenção de desordens nutricionais, trata de doenças cujos mecanismos são conhecidos e cujo tratamento/prevenção é viável.

Weisbrod (1991) sugere tornar esse esquema dinâmico: historicamente o conhecimento passa do primeiro para o segundo e a seguir para o terceiro tipo de tecnologia. Dessa sugestão, deriva que a função de custo associada a esse processo dinâmico tenha a forma de um U invertido. No caso de “não-tecnologia”, há pouco a se fazer e os gastos são baixos, o ponto mais caro seria nas tecnologias intermediárias, voltando a cair no caso do terceiro estágio (“alta tecnologia”). Como exemplo, Weisbrod cita a evolução da pólio: a) no início (duas gerações atrás) suas vítimas morriam rapidamente como resultado da paralisia; b) depois houve o desenvolvimento de fase de “tecnologia intermediária”, com o surgimento do pulmão artificial, que prolongava a vida a custos substanciais; c) finalmente, as vacinas (Sabin e Salk) da fase de “alta tecnologia” reduziram dramaticamente os custos associados à pólio (Weisbrod, 1991). Um questionamento a esse esquema pode ser apresentado, restringindo a sua validade. Ele seria válido para doenças transmissíveis e para doenças crônicas que atingem pessoas abaixo dos 65 anos de idade. Entretanto, na medida que a expectativa de vida fosse sendo ampliada, o custo para cada novo ano ganho teria uma tendência ascendente.

Esse esquema pode ser mais ampliado por meio da avaliação de algumas “trajetórias tecnológicas” (Dosi, 1988), que poderiam ser identificadas em Medicina: a) técnicas de tratamento e diagnóstico menos invasivas: um exemplo é o desenvolvimento da endoscopia, ultrasonografia, técnicas de imagens cardíacas etc.; b) desenvolvimento de medicamentos mais efica-

zes, o que significa substituição de cirurgias e/ou de longos períodos de internação hospitalar; c) desenvolvimento de vacinas, que são consequência de maior conhecimento sobre processos do corpo humano, evitando gastos com o tratamento de doenças que se tornam passíveis de prevenção efetiva (entretanto, como ressaltam Rappuoli *et al.*, [2002], os incentivos econômicos de mercado para o desenvolvimento de vacinas são limitados); d) crescente reconhecimento da importância de hábitos, condições de vida e trabalho, regimes alimentares sobre as condições de saúde: a contínua geração de informações que devem ser propagadas via educação e meios de comunicação pode ser um poderoso redutor de gastos (exemplo: redução do número de fumantes e o seu efeito sobre gastos hospitalares para tratamento de doenças associadas ao fumo); e) mesmo em termos de equipamentos médicos, é possível supor que ela acompanha a tendência geral de miniaturização, ampliação de sua capacidade e barateamento que ocorre, por exemplo, nas indústrias de computadores e telecomunicações.

Percebe-se nas cinco “trajetórias tecnológicas” da Medicina descritas acima que é possível identificar elementos redutores de custos. A conclusão, mesmo que provisória e sujeita a importantes qualificações, é a de que a continuidade e a aceleração do progresso tecnológico no setor exercerão impactos sobre a prática médica no sentido de barateá-la. Slaughter & Rhoades (2002) identificam diferentes prioridades para linhas de pesquisa entre hospitais e seguradoras, uma disputa certamente importante para o padrão de progresso a ser seguido.

Contudo, há dois problemas iniciais acerca dessa visão.

Em primeiro lugar, certos avanços na área de medicamentos (forte candidato, como vimos, a substituir cirurgias) podem levar a viabilização de novos tipos de cirurgia e procedimentos caros (ver a relação entre imunossuppressores e cirurgias de transplantes) (Weisbrod, 1991).

Em segundo lugar, é importante observar os fatores que governam a oferta de inovações médicas, como insistem Gelijns & Rosenberg (1995). Nesse ponto, limitações do conhecimento científico são muitas vezes enormes. No sistema de inovação do setor saúde, fortemente baseado na ciência, limitações no desenvolvimento científico podem tornar a oferta de inovações praticamente inelástica por alguns períodos de tempo. O desenvolvimento científico

tem uma lógica própria, autônoma, e a partir de um certo ponto depende exclusivamente de sua própria evolução, sendo relativamente “imune” a pressões e demandas apresentadas pela economia e pela sociedade (Rosenberg, 1976).

### Sistemas de inovação em países desenvolvidos

A possibilidade de desagregação de um sistema de inovação em nível setorial é contemplada pela literatura de economia da tecnologia. Para uma discussão geral do conceito de sistemas nacionais de inovação ver Freeman (1995) e Nelson (1993). Para discutir os sistemas setoriais, ver Breschi & Malerba (1997).

Para o setor saúde, três pontos de partida podem ser utilizados: 1) o conceito de complexo médico-industrial (Cordeiro, 1980); 2) as evidências fortes sobre a existência de um sistema biomédico de inovação encontradas por Hicks & Katz (1996); e 3) os estudos sobre as interações entre as universidades e as indústrias na geração das inovações médicas (Gelijns & Rosenberg, 1995).

Em primeiro lugar, é interessante recuperar uma elaboração proposta por estudiosos do setor saúde: o complexo médico-industrial (Cordeiro, 1980). Em trabalho recente, estudando coalizões de P&D nos Estados Unidos, Slaughter & Rhoades (2002) avaliam o “complexo médico-industrial”, no qual os National Institutes of Health têm um papel importante. Trata-se de uma articulação que envolve a assistência médica, as redes de formação profissional (escolas, universidades), a indústria farmacêutica, a indústria produtora de equipamentos médicos e instrumentos de diagnóstico. Retomando essa formulação, a sugestão da existência de um sistema de inovação do setor saúde acrescenta um ponto importante, advindo da literatura da economia da tecnologia e da inovação: é necessário estudar os fluxos de informação tecnológica e os mecanismos de geração da inovação nesse complexo médico-industrial. Gelijns & Rosenberg (1995) apresentam uma resenha de estudos sobre as complexas interações entre universidades, indústria e sistemas de assistência médica que impulsionam o desenvolvimento da tecnologia médica: como em outros setores, as interações entre a demanda por e a oferta de inovações são complexas e multifacetadas.

Em segundo lugar, apresenta-se a sugestão de Hicks & Katz (1996) sobre a existência de

um sistema biomédico de inovação. A partir de um estudo sobre as contribuições dos hospitais para a produção científica britânica, Hicks & Katz (1996) encontraram tantas singularidades que sugeriram a possibilidade da existência de um sistema biomédico de inovação, no qual os hospitais participariam intensamente.

Em terceiro lugar, o trabalho editado por Gelijns & Rosenberg (1995) detalhou várias facetas da interação entre as universidades e a indústria na geração de tecnologia médica. Estudos desse livro também apontam inúmeras particularidades na interação produtor-usuário, na qual a profissão médica desempenha importante papel no desenvolvimento de inovações, assim como em seu aperfeiçoamento. Gelijns (1990) apresenta uma discussão mais geral sobre os mecanismos pelos quais a pesquisa biomédica é *traduzida* para a prática médica, indicando tanto os fortes mecanismos de *feedback* presentes (ressaltando o caráter interativo do processo inovador) como as diferenças entre os processos dessa *tradução* (e respectivos mecanismos de *feedback*) para o desenvolvimento de novos medicamentos, novos equipamentos médicos e novas práticas clínicas. Gelijns (1990) usa a expressão *translation* para expressar esse processo interativo no setor saúde. A importância desse processo de “tradução” é ressaltada em texto recente de Nelson (2002) para um projeto sobre a evolução desigual do conhecimento médico. Segundo Nelson (2002), a pesquisa clínica e a pesquisa visando a essa *tradução* (*translational research*) são os processos principais através dos quais os avanços na prática são alcançados.

Esses três pontos de partida podem ser articulados entre si, de forma a possibilitar uma visualização inicial dos fluxos de informação científica e tecnológica no interior do sistema de inovação da saúde.

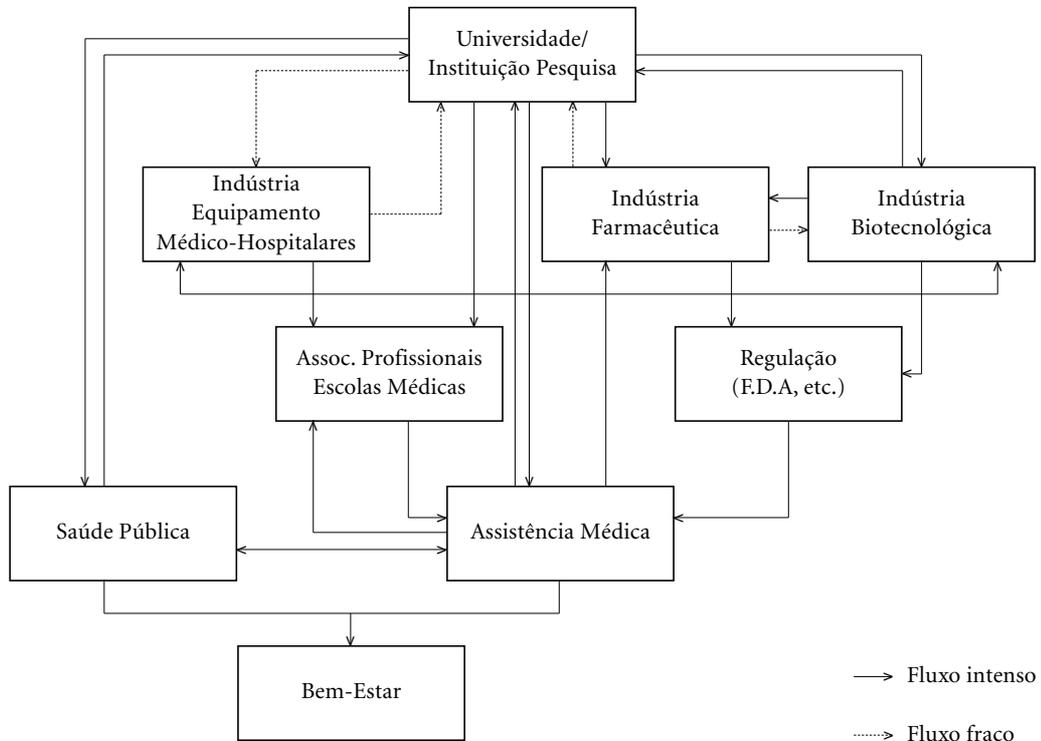
De uma forma exploratória e preliminar, a figura 1 apresenta o conjunto de agentes e instituições envolvidas assim como os possíveis fluxos existentes.

A partir da figura 1, algumas características gerais do sistema de inovação do setor saúde podem ser apontadas.

1) O papel das universidades e instituições de pesquisa: o número de fluxos de informação científica e tecnológica que se originam ou que se destinam para essas instituições é grande. As universidades se caracterizariam como um verdadeiro foco e centro de convergência de fluxos. Essa posição crucial é uma manifestação

**Figura 1**

Fluxos de informações científicas e tecnológicas no sistema de inovação do setor saúde: o caso de países com sistemas maduros.



Fonte: elaboração própria, a partir de Cordeiro (1980) e Gelijns & Rosenberg (1995)

da proximidade que o progresso tecnológico do setor tem com a ciência.

2) A assistência médica, envolvendo hospitais, clínicas, postos médicos etc., participa também intensamente dos fluxos, interagindo fortemente com as indústrias do setor e com a universidade. Hospitais e centros médicos acadêmicos têm uma posição-chave na implementação, difusão e melhorias incrementais de inovações. Apresentam demandas para os componentes do subsistema e interagem ao longo do seu desenvolvimento.

3) Instituições de regulação (como o FDA nos Estados Unidos), associações profissionais e escolas médicas cumprem um papel de filtro das inovações geradas pelas universidades e indústrias. Essa combinação de instituições aponta o papel singular desempenhado por ambientes seletivos não-mercantis no setor saúde. Aliás, Nelson & Winter (1982) já haviam chamado atenção para o papel da profissão médi-

ca na seleção de novos tratamentos. Essa particularidade é significativa.

4) As indústrias têm graus diferentes de interação com as universidades. A separação entre indústrias biotecnológicas e farmacêuticas é útil em termos didáticos, mas, talvez, seja um pouco forçada. Nos próximos anos pode haver uma tendência à fusão entre essas duas indústrias. As perspectivas são controversas (por exemplo, Arora & Gambardella [1995] sugerem que a atual divisão de trabalho inovador é estável). No mínimo, a separação mantida na figura 1 serve para ampliar os importantes efeitos da revolução biotecnológica atualmente em curso. A relação entre biotecnologia e universidades fica evidente também na formação de *clusters* do setor. De acordo com Prevezer *et al.* (1998), o surgimento de *clusters* de biotecnologia na Califórnia tem íntima relação com o surgimento dos *clusters* de computação na mesma região. A herança deixada por este último be-

neficiou o advento da indústria de biotecnologia, pois já havia uma infra-estrutura com capital de risco, rede de comunicação, alta mobilidade de emprego, inclusive experiência de conexão entre universidades e companhias que pôde ser utilizada pela biotecnologia. A estrutura acadêmica e científica era avançada e havia relações de cooperação entre cientistas, sendo este um fator crucial associado à concentração de cientistas com especializações multidisciplinares.

5) A saúde pública entra com um papel importante, tendo interações diretas com as universidades e instituições de pesquisa, além de receber as inovações provenientes do complexo médico-industrial. As interações se processam de forma mediada pelo sistema de assistência médica.

6) A efetividade das inovações, implementadas pela assistência médica e saúde pública, repercute diretamente sobre o bem-estar da população, que é o objetivo final do conjunto do subsistema de inovação da saúde. Indicadores das melhorias de bem-estar social são a ampliação da expectativa de vida (World Bank, 1993) e a redução de AVAIs (Murray & Lopez, 1996).

Essas características destacam o setor saúde como um sistema “fortemente baseado na ciência”. A literatura da economia da tecnologia enfatiza as diferenças intersetoriais nas relações entre ciência, tecnologia e produção. Freeman & Soete (1997), por exemplo, discorrem longamente sobre a emergência das tecnologias relacionadas à ciência, Pavitt (1984) constrói uma taxonomia de fluxos tecnológicos na qual um setor “baseado na ciência” é destacado. Por isso, é interessante mencionar a ênfase atribuída por acadêmicos da economia da tecnologia para a proximidade e para o entrelaçamento entre a ciência e a tecnologia no setor saúde (Nelson, 1995; Gelijns & Rosenberg, 1995).

Gelijns & Rosenberg (1995) destacam como a inovação médica é crescentemente dependente de pesquisas interdisciplinares. Em medicamentos, por exemplo, uma nova droga requer o trabalho de químicos, biólogos moleculares, imunologistas, engenheiros químicos, clínicos etc. Na indústria de equipamentos médicos, inovações requerem o trabalho de físicos, engenheiros eletrônicos, especialistas em novos materiais, especialistas médicos etc. Ou seja, a produção de inovações no setor saúde tem por pré-requisito uma estrutura de formação universitária e de pós-graduação abrangente e razoavelmente sofisticada, dado o ti-

po de interação e interdisciplinaridade que ela apresenta.

Nelson (1995), por sua vez, confessou-se impressionado pela relevância do entrelaçamento entre ciência e tecnologia para a pesquisa e a inovação médica. Destacou que o advento da biotecnologia moderna certamente tem exacerbado essa relação. A observação de Nelson fundamenta a existência de fluxos de informação fortes nos dois sentidos entre as universidades e as indústrias biotecnológicas.

Na verdade, talvez existam relações mais complexas do que as apontadas pela esquemática figura 1. É possível encontrar na literatura exemplos de verdadeira “inversão” nos papéis tradicionais das universidades e indústrias na geração de conhecimentos públicos e conhecimentos apropriados privadamente. Rosenberg & Nelson (1994) estudaram patentes de universidades norte-americanas, analisando o peso relativo das patentes universitárias sobre o total de patentes do setor e ordenando os setores industriais e tecnológicos nesse sentido. O resultado mostra que os cinco setores líderes são da área biomédica e que, dentre os dez primeiros, nove poderiam ser relacionados com essa área. Os cinco setores líderes na patenteação universitária são: 1) engenharia genética, 2) química orgânica (proteínas), 3) biologia molecular e microbiologia, 4) cirurgia e 5) compostos orgânicos. Nelson (1995) questiona essa tendência à privatização do conhecimento universitário, comentando que ela poderia levar a problemas no sistema de inovação norte-americano por prejudicar as universidades em seu papel histórico na geração de conhecimentos públicos. Inversamente, Hicks (1995) tem chamado atenção para o papel da produção científica gerada em empresas, expressando o fato de o setor privado investir em produção científica e, mais importante, se dispor a publicar, ao menos em parte, os resultados. A área biomédica parece fornecer interessantes exemplos da movimentação dinâmica entre as fronteiras do conhecimento público e privado.

Klevatorick *et al.* (1995) e Narin *et al.* (1997) apresentam levantamentos empíricos sustentando a existência dos fluxos fortes de informação entre a universidade e as indústrias relacionadas, como indica a figura 1.

Klevatorick *et al.* (1995) apresentam o *Yale Survey*, um levantamento realizado em 650 empresas de 180 diferentes indústrias. Nessa pesquisa, a produção científica universitária foi considerada de alta relevância para os setores

industriais localizados na figura 1 (indústria de equipamentos farmacêuticos e biotecnológicos). A biologia foi considerada de alta relevância para a indústria de medicamentos (além de alimentação animal, processamento de frutas e vegetais); a química para a de medicamentos (além de alimentação animal e carnes) e as ciências médicas para a indústria de instrumentos médicos e cirúrgicos e medicamentos (além da indústria de café).

Os resultados do *Yale Survey* sugerem que a ciência do setor biomédico tem repercussões econômicas que ultrapassam as fronteiras delimitadas pelo esquema da figura 1. Além disso, Rosenberg & Nelson (1994), avaliando esses resultados, discutem as influências indiretas de alguns setores científicos: os avanços mais fundamentais em física e matemática seriam traduzidos para a indústria pelas disciplinas aplicadas (como a química, as engenharias etc.). Esse comentário é importante porque o padrão de desenvolvimento tecnológico do setor de equipamentos médicos e cirúrgicos é profundamente dependente desse tipo indireto de relações.

Narin, Hamilton & Olivastro (1997) pesquisaram as referências existentes nas patentes a trabalhos científicos e, comparando os dados de 1987-1988 e 1993-1994, identificaram um crescimento de 30% no total de patentes. Para o mesmo período o total de referências a publicações científicas com autores norte-americanos passou de 17.000 para 50.000 (aumento de quase 200%). Narin *et al.* (1997) demonstram a crescente dependência da indústria americana em relação à ciência (financiada basicamente pelo setor público). Desagregando os setores envolvidos, Narin *et al.* indicam que as patentes relacionadas a drogas e medicamentos são as que apresentam a mais forte dependência em relação à ciência pública.

Como confirmam os dados, os artigos científicos citados pelas patentes das indústrias norte-americanas têm uma forte origem em instituições públicas (43,9% dos Estados Unidos e 29,4% estrangeiras), sendo que a soma das patentes de drogas e medicamentos apresenta a maior participação total de instituições públicas (79,1% de todas as citações).

Hicks & Katz (1996) introduzem uma questão adicional: o papel dos hospitais como parte do sistema de pesquisa. Investigando colaborações entre autores de diferentes instituições, encontraram que os hospitais são fortemente articulados com institutos da Special Health

Authority (SHA) e do sistema de British Post-Graduate Medical Research (BPG), formando um grupo de vínculos fortes de pesquisa, em oposição ao grupo constituído por indústrias, governo e universidades. A participação dos hospitais britânicos, somados aos institutos da SHA/BPG foram responsáveis por 25% da produção científica britânica nos anos 80 (Hicks & Katz, 1996). Um resultado expressivo e pouco estudado, destacam.

Hicks & Katz (1996) colaboram para destacar a contribuição científica de instituições fora do circuito acadêmico. Chegam a apresentar uma analogia entre a descoberta da supercondutividade por pesquisadores da IBM e a descoberta do papel da *Helicobacter Pylori* em problemas digestivos por um clínico.

Esses estudos apresentam fortes argumentos em apoio à idéia de que o conhecimento científico tem peso central na dinâmica do progresso tecnológico do setor saúde, assim como para apontar as suas fontes acadêmicas e não-acadêmicas.

Ao investigarem a articulação entre hospitais, universidades e instituições de pesquisa na produção de inovações para o setor médico, Hicks & Katz (1996) fornecem pistas sobre interações entre sistemas de inovação e sistemas de bem-estar social. A partir dessa investigação, sugerem a existência de um sistema específico, caracterizado como biomédico, que comportaria fluxos de informação tecnológica com características singulares. O papel do hospital nesses fluxos indica uma posição *sui generis*: um ponto de intersecção entre dois sistemas, pertencendo simultaneamente parte ao sistema de bem-estar e ao sistema de inovação (Campos & Albuquerque, 1998).

Em linha similar, Pavitt (1998), utilizando-se de um rico trabalho de Lattimore & Revesz (1996) sobre características de produções científicas nacionais, sugere a existência de diferentes especializações entre sistemas de inovação a partir das “vantagens comparativas de publicações”. Como os sistemas nacionais de inovação são resultado de longos processos de construção institucional, há espaço para uma grande diversidade entre eles: características dos sistemas nacionais de inovação são sensíveis à ação de outras construções institucionais. Para Pavitt, alguns sistemas podem ser caracterizados como possuindo uma “especialização em saúde”: este seria o caso da Suécia, da Dinamarca, da Finlândia, Suíça e Reino Unido. Os países escandinavos têm em comum um sistema de bem-

estar bastante sofisticado, enquanto o Reino Unido é sede do National Health Service (Esping-Anderson, 1990).

Essa caracterização sugere uma rede de interações complexas entre sistemas de inovação e sistemas de bem-estar, capazes de se influenciarem mutuamente. E abre espaço para a construção de sistemas de inovação que busquem especializações diretamente voltadas para a qualidade de vida.

### **A grande desconexão entre a carga da doença e os investimentos em pesquisa**

O cenário mundial descrito pela OMS pode ser sintetizado por um desafio duplo: “epidemias emergentes e problemas persistentes” (WHO, 1999). Esse cenário tem uma distribuição desigual, em especial na distribuição da “carga da doença evitável”.

A articulação entre sistemas de inovação e bem-estar social encontra-se mais desenvolvida nos países ricos. No cenário internacional, a desigualdade do progresso tecnológico refletiu-se na condição social das populações mundiais. Possivelmente, a inexistência ou o caráter incompleto dos sistemas de inovação na periferia determina essa desigualdade internacional.

No caso da saúde, a avaliação da situação tecnológica indica de forma dramática a enorme desigualdade. Diversos estudos recentes identificam de forma complementar essa desigualdade (GFHR, 2002; WHO, 1996, 2001; UNDP, 2001).

Em primeiro lugar, há uma importante articulação entre o nível de desenvolvimento e os recursos alocados para a pesquisa e desenvolvimento em saúde: segundo a OMS, os países de baixa e média renda respondem por apenas 2,2% dos fundos globais destinados para pesquisa em saúde (WHO, 1996). Certamente esse problema alocativo é resultado imediato da inexistência de sistemas de inovação completos nesses países.

Em segundo lugar, como resultado de um esforço mais abrangente realizado pela OMS e pelo Banco Mundial, desenvolveu-se uma investigação visando criar instrumentos para a mensuração de impacto dos agravos à saúde, como primeiro passo para o planejamento das ações específicas de combate a estes agravos. O principal indicador é o AVAI que possui, em relação aos indicadores comumente usados (tais como Índice de Mortalidade Infantil ou Expec-

tativa de Vida), a vantagem de levar em conta todos os agravos à saúde (doenças, acidentes, condições ambientais e sociais insalubres, etc.), sejam eles fatais ou não (Murray & Lopez, 1996). A partir desse indicador, outros estudos puderam ser desenvolvidos. A OMS pôde encontrar, em estudo sobre pesquisas no setor saúde, “uma desconexão monumental” entre a carga da doença e os gastos em pesquisa e desenvolvimento: enquanto a pneumonia e as doenças diarreicas respondem por 15,4% da carga da doença (e são as duas maiores causas de morte no planeta), recebem apenas 0,2% dos recursos para P&D (WHO, 1996).

Em terceiro lugar, em um desenvolvimento desses estudos comparativos, uma Comissão da OMS (WHO, 2001) pôde articular a distribuição mundial de doenças e recursos de P&D. O trabalho distingue três tipos de doenças: 1) doenças tipo I, presentes em países ricos e em países pobres, com populações vulneráveis expressivas nos dois conjuntos de países (exemplos são doenças transmissíveis como hepatite B e gripe e doenças não-transmissíveis como diabetes e doenças cardiovasculares); 2) doenças tipo II, presentes em países ricos e países pobres, mas com uma proporção substancial de casos em países pobres (AIDS e tuberculose são exemplos); 3) doenças do tipo III são aquelas exclusiva ou predominantemente concentradas em países pobres (várias doenças tropicais). Doenças do tipo I contam com P&D público e privado, derivando-se daí novos produtos. Entretanto, muitas vezes a difusão desses produtos para países pobres é limitada, seja por custos elevados seja por proteção patentária. Doenças do tipo II contam com recursos mais limitados. Finalmente, as doenças de tipo III recebem uma proporção muito baixa de P&D, e “quase nenhum P&D comercial nos países ricos” (WHO, 2001).

Combinando a carga da doença e a alocação de P&D, a OMS discute a “oferta mundial de conhecimento para lutar contra doenças”. Para a OMS, é um achado empírico robusto o princípio básico de que a P&D tende a declinar em relação à carga da doença quando se passa de doenças do Tipo I para doenças do Tipo III (WHO, 2001). Por isso, as doenças de Tipo II são freqüentemente denominadas “doenças negligenciadas” e as doenças de Tipo III são consideradas “doenças muito negligenciadas”.

Em quarto lugar, é importante destacar a iniciativa do Global Forum for Health Research (GFHR, 2002), talvez uma síntese de to-

dos os esforços internacionais apresentados nessa seção. O Global Forum destaca que menos de 10% dos gastos mundiais em pesquisa na área da saúde são dedicados a doenças ou condições que representam mais de 90% da carga mundial da doença: daí o “hiato 10/90” (GFHR, 2002). Utilizando a classificação da OMS (WHO, 2001), o Global Forum classifica doenças tropicais como esquistossomose, leishmaniose, oncocercose, filariose e doenças de Chagas como doenças “muito negligenciadas” (Tipo III).

Esses dados e resultados sugerem dois caminhos para a discussão deste artigo.

Em primeiro lugar, indicam a necessidade de a saúde ser compreendida como um fenômeno mundial, donde a importância de iniciativas cooperativas internacionais, envolvendo tanto esforços de pesquisa como apoio à constituição de sistemas de saúde que garantam a efetiva difusão das conquistas científicas e tecnológicas da humanidade.

Em segundo lugar, destacam a importância do esforço científico interno aos países em desenvolvimento: perfis epidemiológicos diferentes determinam diferentes demandas sobre os sistemas de pesquisa. Logo, nenhum país do mundo pode deixar de participar das redes internacionais de pesquisa e difusão das inovações e nem pode contar apenas com a difusão passiva de inovações dos centros mais avançados para resolver os seus problemas básicos de saúde. Portanto, sistemas de inovação têm um papel insubstituível para o aprimoramento da qualidade de vida.

### **Desafios e oportunidades para o caso brasileiro**

O perfil epidemiológico do Brasil distingue-se do de países avançados pela presença dos “problemas persistentes”, incluindo doenças tropicais, e também distingue-se do perfil de países mais pobres pela presença das “epidemias emergentes”, envolvendo doenças não-transmissíveis (um verdadeiro “mosaico epidemiológico”).

Buck *et al.* (1988) distinguem três estágios na evolução dos padrões de doenças: 1) estágio marcado por doenças infecciosas associadas à pobreza, má nutrição, falta de saneamento etc.; 2) doenças degenerativas como doenças cardíacas e câncer; 3) problemas derivados de poluição ambiental e problemas em famílias, comu-

nidades e locais de trabalho que levam à violência, abuso de drogas, alcoolismo etc. Os países desenvolvidos teriam passado por esses três estágios ao longo de um século, enquanto os países em desenvolvimento devem enfrentá-las de uma só vez. Daí a menção ao “verdadeiro mosaico epidemiológico”.

Por isso, o Brasil é um país que necessita de um sistema de saúde que dê conta, simultaneamente, de lidar com doenças degenerativas e com doenças parasitárias, de lidar com doenças Tipos I, II e III.

Portanto, o perfil epidemiológico do país apresenta demandas muito especiais sobre o sistema de saúde e sobre a infra-estrutura científica, colocando o Brasil em uma posição muito singular nos fluxos internacionais de informações científico-tecnológicas: existe a possibilidade e a capacidade para o diálogo e a cooperação tanto com países mais avançados como com países menos desenvolvidos. Pellegrini (2000) apresenta uma avaliação da capacitação científica na área da saúde para a América Latina e para o Caribe.

A caracterização do sistema de inovação do setor saúde no Brasil expressa o estágio de construção do sistema nacional. O caráter imaturo ou incompleto do sistema de inovação brasileiro é discutido em outros trabalhos (Albuquerque, 1999). Trata-se aqui de apresentar as características principais do caso brasileiro à luz da discussão internacional e de apontar as suas potencialidades. Como será apresentado, o fortalecimento do sistema setorial de saúde pode ser uma importante peça de política industrial associada à retomada do desenvolvimento no país.

A importância do setor saúde no sistema de inovação brasileiro pode ser atestada tanto pela observação das raízes históricas como das realizações recentes. Historicamente, a constituição da infra-estrutura científica no Brasil tem um importante marco nos acontecimentos em torno da fundação do Instituto de Manguinhos. Stepan (1976), por exemplo, articula a obra de Oswaldo Cruz aos inícios da ciência brasileira. Como potencialidade presente, o seqüenciamento do genoma da *Xylella fastidiosa* (primeira seqüência pública de um patógeno de planta de vida livre, bactéria que ataca frutas cítricas entre outras culturas) indica uma comunidade científica de qualidade internacional (Simpson *et al.*, 2000).

Uma avaliação preliminar apresentada em outro trabalho (Albuquerque & Cassiolato,

2000) colhe elementos que apontam para o caráter imaturo e incompleto do sistema setorial de inovação da saúde. Tomando novamente a figura 1 como referência, as seguintes modificações deveriam ser sugeridas para que o caso de um sistema imaturo como o brasileiro possa ser retratado.

Em primeiro lugar, o complexo universidade/institutos de pesquisa é menor e tem menos impacto sobre o conjunto do sistema. O sistema de formação e pesquisa tem ainda um importante vínculo com o “resto do mundo”, de onde absorve conhecimentos e articula intercâmbios. No caso do sistema de inovação do setor saúde, a inexistência de uma “massa crítica” talvez seja o maior problema. Apesar dos avanços das últimas décadas, o país ainda está abaixo de um possível “limiar” de produção científica. A partir de uma investigação sobre artigos e patentes de 120 países, Bernardes & Albuquerque (2003) encontram que esse limiar corresponde a aproximadamente 150 artigos por milhão de habitantes. A partir desse limiar a “eficiência” na produção de patentes cresce (menos artigos proporcionalmente geram mais patentes). Esse ponto, um possível “limiar” que deve ser superado para que as interações discutidas na seção “A grande desconexão entre a carga da doença e os investimentos em pesquisa” sejam detonadas, ainda não foi alcançado pelo Brasil (em 1998 o país produziu 63 artigos por milhão de habitantes). Esse dado seria uma indicação da necessidade de ampliar investimentos na infra-estrutura científica como precondição para os *feedbacks* positivos entre a dimensão tecnológica e científica.

Em segundo lugar, o setor industrial é bem menor e pouco presente nos fluxos de informação científica e tecnológica.

A indústria farmacêutica pesquisa pouco no país, o que debilita as interações entre as firmas desse setor e as universidades. Segundo a Pesquisa Industrial – Inovação Tecnológica (IBGE, 2002), a indústria farmacêutica investe em P&D apenas 0,83% de sua receita líquida de vendas. Uma proporção bem abaixo do investimento nos Estados Unidos que, segundo Scherer & Ross (1990), na década de 1980 correspondia a 10,9% de sua receita com P&D.

Já a indústria biotecnológica ainda não ganhou impulso, inclusive pela debilidade do setor farmacêutico “tradicional”. Souza (2001) demonstra o crescimento do número de grupos de pesquisa em biotecnologia no país. Atualmente, existem 1.717 grupos (que repre-

sentam 15% do total de grupos cadastrados no CNPq), 3.844 linhas de pesquisa e 7.176 pesquisadores, estando a maioria concentrada no Sudeste, com destaque especial para São Paulo, que concentra 28% destes grupos de pesquisa. Contudo, ainda é necessário enfatizar que mesmo com todos esses avanços é preciso existir um mínimo de “massa crítica”. O fato de o país contar com quase 5.000 pesquisadores em biociência (considerando aqui ciências biológicas, da saúde e agrárias) e estados como São Paulo contar com 2.048 pesquisadores em biotecnologia ainda está aquém da realidade de países como os EUA, onde, somente na Califórnia, de acordo com a National Science Foundation, em 1997, trabalhavam 38.800 cientistas na área biológica. Embora o Brasil, ainda nos dias atuais, possua uma estrutura defasada em relação a países desenvolvidos tecnologicamente, tem obtido avanços como, por exemplo, o estudo sobre *Xylella fastidiosa*, que resultou de um consórcio de pesquisadores. Este estudo representa a utilização de técnicas mais avançadas e aponta para uma melhora decisiva em relação ao cenário apresentado no início da década de 1990 por Azevedo (1993): é importante uma referência a esse trabalho, pois Azevedo, avaliando o “estado da arte” na área de agronomia, considerava que um dos fatores que contribuíam para uma defasagem da pesquisa brasileira seria exatamente a ausência de *introdução de novas tecnologias, particularmente oriundas da tecnologia do DNA recombinante e biologia molecular*.

A indústria de equipamentos médico-hospitalares é pequena, assim como as respectivas interações. No conjunto do setor industrial, as relações com o “resto do mundo” são importantes, seja por importação de equipamentos, seja pela importação de tecnologia (via licenciamento, processos trazidos pelas multinacionais etc.). Ribeiro (1999), em um estudo de caso sobre um hospital (Santa Casa de Belo Horizonte) e seus mecanismos de absorção de tecnologia, encontrou indícios da falta de interação entre os componentes do sistema de inovação. Em particular, a ausência do papel do hospital nas interações produtor-usuário pôde ser identificada para um caso representativo da situação brasileira.

Em terceiro lugar, na interação entre os sistemas de saúde e de inovação, a debilidade dos mecanismos regulatórios (em função da recente entrada em operação de agências como a Agência Nacional de Saúde Suplementar – ANS,

por exemplo) deixa espaço para um processo de absorção passiva e desordenada de equipamentos e tecnologias, processo que não contribui para a multiplicação dos fluxos tecnológicos no país.

Apesar dessas limitações, o caso brasileiro deve ser avaliado em função da existência de “janelas de oportunidade” (Perez & Soete, 1988) e da contribuição da infra-estrutura científica para o seu aproveitamento.

De onde provêm as “janelas de oportunidade”? Da movimentação da fronteira tecnológica internacional, que por sua vez é determinada pela sucessão de paradigmas tecnológicos (Dosi, 1984). Inovações radicais estabelecem as bases de constituição de um novo paradigma tecnológico (Freeman, 1994). Estabelecido um novo paradigma, trajetórias tecnológicas serão estabelecidas, fundamentalmente a partir de inovações incrementais.

Por que surgem essas “janelas de oportunidade”? Segundo Dosi (1984), as condições de apropriabilidade das inovações variam ao longo das “fases” do paradigma. Na emergência de um novo paradigma, caracterizada por uma alta taxa de natalidade e mortalidade de firmas inovadoras, oligopólios temporários seriam estabelecidos; enquanto nas trajetórias estabelecidas, a apropriabilidade privada é mais forte e as estruturas oligopolísticas mais estáveis. Essas condições, válidas para os processos internos de um país, se repetem na arena internacional, fundamentando o aparecimento das “oportunidades” para as firmas dos países atrasados.

Finalmente, a movimentação da fronteira internacional, decisiva para o surgimento de oportunidades aos países retardatários, apresenta um problema adicional (e decisivo) para eles: a amplitude e a qualidade do esforço interno a ser realizado também varia de forma dinâmica, crescendo à medida que os paradigmas se sucedem.

Se a tecnologia fosse pura e simplesmente um bem público e sua difusão sem custo, a convergência entre os diversos países seria automática. Porém, a vasta produção de estudos sobre a tecnologia tem enfatizado o seu caráter simultaneamente público e privado (Dosi, 1988). Conseqüentemente, a previsão de sua difusão automática tem uma frágil fundamentação teórica e empírica.

Além disso, o estudo dos processos de difusão tem demonstrado que, em várias dimensões, esses processos são uma continuidade do processo de inovação (Silverberg, 1990). A par-

tir dessa concepção ativa do processo de difusão, exemplos históricos de processos de *catching up* podem ser avaliados. Todos os países que realizaram processos bem-sucedidos de *catching up* (Alemanha, Estados Unidos, Japão, entre outros) iniciaram seus processos por meio da cópia, imitação e transferência de tecnologia dos centros mais avançados (Landes, 1969; Nelson & Wright, 1992; Okahwa & Kohama, 1989). De forma coerente com a compreensão do processo de difusão anteriormente sintetizada, o processo de cópia e imitação não ocorreu de forma independente do desenvolvimento do aprendizado interno: como Cimoli & Dosi (1995) resumem, a combinação entre aquisição e aprendizado e a seqüência que vai da cópia à criatividade são faces de uma mesma moeda.

Portanto, tanto a elaboração teórica como a observação do processo histórico do desenvolvimento justificam definir a *capacidade de absorção* como a variável-chave do ponto de vista do país “imitador”, para que novas tecnologias se difundam e o processo de *catching up* seja bem-sucedido (Mowery & Oxley, 1995).

A infra-estrutura científica dos países em desenvolvimento tem um papel crucial para a construção da capacidade de absorção. Nesse quadro, recoloca-se a questão da contribuição da ciência em países periféricos. Para os países em desenvolvimento, há importantes diferenças em relação ao papel da ciência. Adotando como referência o processo de *catching up*, antes e durante esse processo há um inter-relacionamento dinâmico entre ciência e tecnologia, mas com importantes particularidades.

A ciência pode desempenhar nos processos de *catching up* o papel de “antena”. Inspirada na discussão de Rosenberg (1976), a ciência pode desempenhar o papel de um “instrumento para focalizar a direção do progresso tecnológico” (*focusing device*). A infra-estrutura científica na periferia pode ter o papel de “antena” para a criação de vínculos com as fontes internacionais de tecnologia.

O conhecimento gerado pela infra-estrutura científica de países em desenvolvimento pode oferecer o “conhecimento para focalizar a busca” (Nelson, 1982). Ao invés de se constituir em uma fonte de “oportunidades tecnológicas” como nos sistemas maduros, na periferia a infra-estrutura científica contribui para identificar corretamente oportunidades geradas internacionalmente.

Em outras palavras, o papel da ciência na periferia é o de conectar o sistema nacional de

inovação (ainda imaturos) aos fluxos tecnológicos e científicos internacionais. A emergência de uma economia baseada no conhecimento (Foray & Lundvall, 1996), em um mundo mais interconectado, apenas amplia a importância de tal contribuição para o desenvolvimento da capacidade de absorção de tecnologia estrangeira, fundamental para o sucesso do *catching up*.

Outras contribuições específicas da ciência de países em desenvolvimento, descritas na literatura, são a participação em processos locais de acumulação tecnológica (Bell & Pavitt, 1993) e no fornecimento de um mínimo de informação científica pública para o aproveitamento de “janelas de oportunidade” (Perez & Soete, 1988).

Em suma, o papel da ciência na periferia não se enquadra nos modelos tradicionais. O inter-relacionamento entre a ciência e a tecnologia na periferia indica que desde o início de um processo de *catching up* são necessários investimentos na infra-estrutura científica. Como um *focusing device*, a infra-estrutura científica deve ter a capacidade de apontar avenidas de desenvolvimento tecnológico que são viáveis para as condições concretas do país retardatário, dadas as condições internacionais e o acúmulo nacional prévio. No mínimo, a comunidade científica pode contribuir para evitar percursos fadados de antemão ao insucesso. A existência de uma infra-estrutura científica contribui para evitar a “busca desinformada” (*blind search*, Nelson, 1982), sempre custosa.

O papel da ciência na periferia sugerido aqui considera que a ciência não é uma consequência “natural” do desenvolvimento industrial e tecnológico. Ao contrário, a ciência constitui-se em um dos pré-requisitos desse processo. Ao longo do processo de desenvolvimento, a ciência dinamicamente muda e atualiza o seu papel e a sua inter-relação com a tecnologia. A seu modo, na periferia – que queira se desenvolver – a ciência também deve ser *follower and leader* no sistema de inovação em amadurecimento.

Nesse processo, é importante investigar a especialização científica existente (ou em construção) no país. A partir dos dados do ISI, é possível captar uma visão geral das especializações científicas dos países. Seguindo a sugestão de Lattimore & Revesz (1996), considera-se que um país teria “vantagens comparativas” em disciplinas nas quais obtém um valor superior a 2 no índice de *scientific revealed comparative advantage* (SCRA). Em 2001, o Brasil obteve índices de SCRA maiores que 2 nas seguintes subdisciplinas: agricultura/agronomia, odontolo-

gia/cirurgia oral, biologia, entomologia, física, pesquisa médica (tópicos gerais) e biotecnologia/microbiologia aplicada. O peso das subdisciplinas diretamente relacionadas com o setor biomédico deve ser ressaltado: odontologia/cirurgia oral, biologia, entomologia, pesquisa médica (tópicos gerais) e biotecnologia/microbiologia aplicada. E, evidentemente, a proximidade da subdisciplina agricultura/agronomia com o setor não pode ser esquecida.

A partir do acumulado na infra-estrutura científica do Brasil, é possível conjecturar sobre a contribuição decisiva que o setor saúde pode oferecer ao processo de construção do sistema de inovação no país.

## Conclusão

Este artigo resenha a literatura sobre a importância das interações entre ciência e inovação em geral e na saúde em particular, identifica as construções institucionais que sustentam essas relações (o sistema de inovação e o sistema de bem-estar social) e sumariza o estágio de construção do sistema de inovação do setor saúde no Brasil, indicando o papel das “janelas de oportunidade” e das condições para o seu aproveitamento, com especial ênfase para a infra-estrutura científica.

O caráter ainda incompleto e imaturo do sistema de inovação do setor saúde no país pode ser uma das causas da existência dos atrasos social e tecnológico do país. Por isso, avanços na construção desse subsistema de inovação certamente terão impacto positivo para a redução desses atrasos.

Os componentes até aqui construídos são pontos de partida para o processo de amadurecimento do sistema nacional de inovação. Uma iniciativa importante pode ser o estabelecimento de projetos “orientados por missão” no setor. Os projetos *mission-oriented* são discutidos por Freeman & Soete (1997), que sugerem uma interessante articulação entre tecnologia e o meio-ambiente, através da qual exploram a possibilidade de projetos com objetivos determinados (*mission-oriented*) buscando produzir “soluções tecnicamente viáveis para problemas ambientais específicos”. Sen (1999) articula explicitamente a aplicação do tema da “interdependência e dos bens públicos” tanto para questões ambientais como para questões de epidemiologia e saúde pública. Portanto, a expansão do argumento de Freeman & Soete pa-

ra temas relacionados à saúde é perfeitamente defensável.

Para o caso de países com baixo índice de desenvolvimento humano e atraso tecnológico relativo, podem ser propostos projetos cujas missões objetivem soluções “tecnicamente viáveis” para problemas de saúde particularmente sensíveis.

No caso do Brasil, esses projetos “orientados por missão” poderiam ser articulados a partir de instâncias (ou conselhos) setoriais específicas (por iniciativa do MS e MCT, por exemplo), que englobariam participantes de todos os componentes do sistema de inovação da saúde (universidades, empresas, SUS, associações profissionais etc. – ver figura 1). Talvez uma importante singularidade do sistema de inovação de saúde no Brasil possa vir a ser uma forte interação entre as instituições de pesquisa e as instituições do sistema de saúde pública, destacando as setas nos dois sentidos, conforme a figura 1.

Essas instâncias (conselhos) definiriam prioridades de pesquisa e desenvolvimento, identificariam gargalos e debilidades que necessitam de investimento para fortalecimento da interação entre os componentes do sistema e cuidariam da articulação entre todos os agentes do setor. Um exemplo de iniciativa “orientada por missão” pode ser a erradicação de doenças tropicais: exige desde pesquisas básicas – imunologia, seqüenciamento genético de parasitas etc. –, passando por esforços científicos e industriais para a produção de vacinas e medicamentos e chegando ao desenvolvimento de técnicas de controle por instituições de saúde pública (uma articulação que envolve todos os componentes presentes na figura 1).

Ao reunir todos os participantes do sistema, iniciativas do setor público desse porte po-

dem ser importantes para impulsionar as interações entre pesquisa e inovações que caracterizam um sistema maduro (ou em amadurecimento).

As iniciativas “orientadas por missão” devem ser articuladas com políticas específicas para o fortalecimento da infra-estrutura científica (é necessário investimentos para que o “limiar” discutido anteriormente seja alcançado) e com políticas industriais capazes de fortalecer os componentes industriais do setor saúde.

Para informar essas políticas, cuidadosos levantamentos de recursos podem ser realizados com facilidade, a partir da unificação e cotejamento de diversas bases de dados disponíveis no país (Diretório Grupos de Pesquisa do CNPq, informações sobre especializações científicas nacionais, estaduais e locais a partir dos dados do ISI, avaliação de capacitação tecnológica das empresas pelo IBGE – PIA e PINTEC –, produção tecnológica avaliada por patentes no INPI, equipamentos disponíveis no sistema de saúde através das *Estatísticas da Saúde – assistência médico-sanitária* do IBGE, pessoal e sua qualificação na RAIS). Todo esse conjunto de informações deve ser conectado com os levantamentos epidemiológicos produzidos no país, para articular a demanda da população com a construção de capacitação científica e tecnológica.

Enfim, a capacitação científica e tecnológica em saúde deve ser capaz de responder ao “mosaico epidemiológico” existente no país.

Essas políticas ativas podem contribuir para que o setor saúde deixe a sua marca no sistema de inovação brasileiro, viabilizando uma construção combinada de um sistema de inovação e de um sistema de bem-estar social.

## Referências bibliográficas

- Albuquerque E 1999. National systems of innovation and non-OECD countries: notes about a tentative typology. *Revista de Economia Política* 19(4):35-52.
- Albuquerque E & Cassiolato JE 2000. *As especificidades do sistema de inovação do setor saúde: uma resenha da literatura como introdução a uma discussão sobre o caso brasileiro*. FeSBE, São Paulo. (Estudos FeSBE I). Disponível em <www.fesbe.org.br>.
- Arora A & Gambardella A 1995. The division of innovative labor in biotechnology, pp. 188-205. In N Rosenberg, A Gelijns & H Dawkins. *Sources of medical technology: universities and industry* (Medical Innovation at the Crossroads, v. 5). National Academy, Washington.
- Azevedo JL 1993. *A pesquisa agropecuária no Brasil*. FGV-EAESP, São Paulo. (Série Ciência e Tecnologia no Brasil).
- Bernardes A & Albuquerque E 2003. Cross-over, thresholds and interactions between science and technology: lessons for less-developed countries. *Research Policy* 32(5):865-885.
- Bell M & Pavitt K 1993. Technological accumulation and industrial growth. *Industrial and Corporate Change* 2(2):157-211.
- Bradley D 1999. The last and the next hundred years of malariology. *Parassitologia* 41(1-3):11-20.
- Breschi S & Malerba F 1997. Sectoral innovation systems, pp. 130-156. In C Edquist (ed.). *Systems of innovation: technologies, institutions and organizations*. Pinter, Londres.
- Buck C, Llopis A, Nájera E & Terris M 1988. *The challenge of epidemiology: issues and selected readings*. PAHO-WHO, Washington.
- Campos FE & Albuquerque E 1998. As especificidades do trabalho no setor saúde, pp. 41-79. In J Castro & JP Santana. *Negociação coletiva do trabalho em saúde*. OPAS/OMS-NESC-UFRN, Brasília-Natal.
- Chandler A 1997. The United States: engines of economic growth in the capital-intensive and knowledge-intensive industries, pp. 63-101. In A Chandler, F Amatori & T Hikino (eds.). *Big business and the wealth of nations*. Cambridge University, Cambridge.
- Cimoli M & Dosi G 1995. Technological paradigms, patterns of learning and development: an introductory roadmap. *Journal of Evolutionary Economics* 5:243-268.
- Cordeiro H 1980. *A indústria da saúde no Brasil*. Graal, Rio de Janeiro.
- Debré P 1994. *Pasteur*. Scritta, São Paulo (1995).
- Dosi G 1984. *Technical change and industrial transformation: the theory and an application to the semiconductor industry*. Macmillan, Londres.
- Dosi G 1988. Sources, procedures and microeconomic effects of innovation. *Journal of Economic Literature* 26(3):1120-1171.
- Esping-Anderson G 1990. *The three worlds of welfare capitalism*. Polity, Cambridge.
- Financial Times 1998. Drug companies try to get shot of bad guy image. November 11, 1998, p. 4.
- Foray D & Lundvall B-A 1996. *Employment and growth in the knowledge-based economy*. OECD, Paris.
- Freeman C 1994. The economics of technical change. *Cambridge Journal of Economics* 18(1):463-514.
- Freeman C 1995. The "National System of Innovation" in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics* 19(1):5-24.
- Freeman C & Soete L 1997. *The economics of industrial innovation*. Pinter, Londres.
- Fundação Biomina 2001. *Parque Nacional de Empresas de Biotecnologia*. Biomina, Belo Horizonte.
- Gardner M *et al.* 2002. Genome sequence of the human malaria parasite. *Plasmodium falciparum*. *Nature* 419:498-511.
- Gelijns A 1990. Comparing the development of drugs, devices and clinical procedures, pp. 147-201. In A Gelijns. *Modern methods of clinical investigation*. (Medical Innovation at the Crossroads, v. 1). National Academy, Washington.
- Gelijns A & Rosenberg N 1995. The changing nature of medical technology development, pp. 3-14. In N Rosenberg, A Gelijns & H Dawkins. *Sources of medical technology: universities and industry*. (Medical Innovation at the Crossroads, v. 5). National Academy, Washington.
- Gelijns A & Rosenberg N 1999. Diagnostic devices: an analysis of comparative advantage, pp. 312-358. In D Mowery & R Nelson. *Sources of industrial leadership: studies of seven industries*. Cambridge University, Cambridge.
- Gelijns A, Rosenberg N & Moskowitz A 1998. Capturing the unexpected benefits of medical research. *The New England Journal of Medicine* 339(10):693-697.
- Global Forum for Health Research (GFHR) 2002. *The 10/90 Report on health research 2001-2002*. Global Forum for Health Research, Geneva.
- Henderson R, Orsenigo L & Pisano G 1999. The pharmaceutical industry and the revolution in molecular biology: interactions among scientific, institutional, and organizational change, pp. 267-311. In D Mowery & R Nelson. *Sources of industrial leadership: studies of seven industries*. Cambridge University, Cambridge.
- Hicks D 1995. Published papers, tacit competencies, and corporate management of public/private character of knowledge. *Industrial and Corporate Change* 4:401-424.
- Hicks D & Katz J 1996. Hospitals: the hidden research system. *Science and Public Policy* 23(5):297-304.
- IBGE 2002. *Pesquisa Industrial – Inovação Tecnológica 2000: análise dos resultados*. Rio de Janeiro.
- Klevorick A, Levin R, Nelson R & Winter S 1995. On the sources and significance of inter-industry differences in technological opportunities. *Research Policy* 24:85-205.
- Landes D 1969. *The unbound Prometheus: technological change and the industrial development in Western Europe from 1750 to the present*. Cambridge University, Cambridge.
- Lattimore R & Revesz J 1996. *Australian science: performance from published papers*. Bureau of Industry Economics, Report 96/3, Australian Government Printing Office, Canberra.
- Lichtenberg F 1998. *Pharmaceutical innovation, mortality reduction, and economic growth*. National Bureau of Economic Research, Cambridge (Working Paper 6569).
- Mowery D & Oxley J 1995. Inward technology transfer and competitiveness: the role of national systems of innovation. *Cambridge Journal of Economics* 19(1):67-93.

- Murray C & Lopez A. (eds.) 1996. *The global burden of disease*. Harvard School of Public Health, Harvard.
- Narin F, Hamilton KS & Olivastro D 1997. The increasing linkage between U.S. technology and public science. *Research Policy* 26(3):317-330.
- Nelson R 1982. The role of knowledge in R&D efficiency. *The Quarterly Journal of Economics* 97(3):453-471.
- Nelson R (ed.) 1993. *National innovation systems: a comparative analysis*. Oxford University. Nova York, Oxford.
- Nelson R 1995. The intertwining of public and proprietary in medical technology, pp. 219-220. In N Rosenberg, A Gelijns & H Dawkins. *Sources of medical technology: universities and industry* (Medical Innovation at the Crossroads, v. 5). National Academy, Washington.
- Nelson R 2002. *Early reflections on factors behind the uneven evolution of medical know-how*. Columbia University, New York. (Mimeo).
- Nelson R & Winter S 1982. *An evolutionary theory of economic change*. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge-Londres.
- Nelson R & Wright G 1992. The rise and fall of American technological leadership: the postwar era in historical perspective. *Journal of Economic Literature*, vol. XXX, Dec.
- OECD 1998. *Economic aspects of biotechnologies related to human health* (Part I). Disponível em <<http://www.oecd.org>>.
- Ohkawa K & Kohama H 1989. *Lectures on developing economics: Japan's experience and its relevance*. University of Tokyo, Tóquio.
- Pavitt K 1984. Sectoral patterns of technical change. *Research Policy* 13(6):343-373.
- Pavitt K 1998. The social shape of the national science base. *Research Policy* 27(8):793-805
- Pellegrini Filho A 2000. *Ciência em pro de la salud: notas sobre la organización de la actividad científica para el desarrollo de la salud en América Latina y el Caribe*. OPAS, Washington.
- Perez C & Soete L 1988. Catching up in technology: entry barriers and windows of opportunity, pp. 458-479. In G Dosi et al. (eds.). *Technical change and economic theory*. Pinter, Ldres.
- Porter R 1998. *The greatest benefit of mankind: a medical history of humanity*. W. W. Norton, Nova York-Londres.
- Prevezer M et al. 1998. Clustering in biotechnology in the USA, pp. 124-193. In GMP Swann, M Prevezer & D Stout (eds.). *The dynamics of industrial clustering. International comparisons in computing and biotechnology*. Oxford University, Oxford.
- Rappuoli R, Miller S & Falkow S 2002. The intangible value of vaccination. *Science* 297(9):937-939.
- Reale G & Antisseri D 1986. *História da filosofia* (volume I). Paulus, São Paulo. (1990).
- Ribeiro D 1999. *Santa Casa de Belo Horizonte: um estudo de caso sobre absorção de tecnologia*. Monografia de Graduação, versão preliminar. FACE-UFMG, Belo Horizonte. (Mimeo).
- Rosenberg N 1982. *Inside the black box: technology and economics*. Cambridge University, Cambridge.
- Rosenberg N 1976. *Perspectives in technology*. Cambridge University, Cambridge.
- Rosenberg N, Gelijns A & Dawkins H 1995. *Sources of medical technology: universities and industry* (Medical innovation at the crossroads, v. 5). Washington: National Academy.
- Rosenberg N & Nelson R 1994. American universities and technical advance in industry, pp. 189-229. In R Nelson. *The sources of economic growth*. Harvard University, Cambridge.
- Scherer F & Ross D 1990. *Industrial market structure and economic performance*. Houghton Mifflin, Boston.
- Sen A 1999. *Development as freedom*. Alfred A. Knopf, Nova York.
- Silverberg G 1990. Adoption and diffusion of technology as a collective evolutionary process, pp. 177-192. In C Freeman & L Soete (eds.). *New explorations in the economics of technological change*. Pinter Publishers, Londres.
- Simpson et al. 2000. The genome sequence of the plant pathogen *Xylella fastidiosa*. *Nature* 406:151-157.
- Slaughter S & Rhoades G 2002. The emergence of a competitiveness research and development policy coalition and the commercialization of academic science and technology, pp. 69-108. In P Mirowsky & E-M Sent (eds.). *Science bought and sold: essays in the economics of science*. The University of Chicago, Chicago.
- Souza S 2001. *Potencialidades da biotecnologia em Minas Gerais: um estudo de empresas e suas relações com universidades*. Dissertação de Mestrado. Cedeplar-UFMG, Belo Horizonte.
- Stepan N 1976. *Beginnings of Brazilian science: Osvaldo Cruz, medical research and policy, 1890-1920*. Science History Publications, Nova York.
- Stryer L 1999. *Bioquímica*. (8ª ed.). Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.
- Susser M 1987. *Epidemiology, health and society: selected papers*. Oxford University, Oxford.
- UNDP – United Nations Development Program 2001. *Human Development Report: making new technologies work for human development*. Nova York. Disponível em <[www.undp.org](http://www.undp.org)>.
- Vehorn C, Landefeld, J & Wagner D 1982. Measuring the contribution of biomedical research to the production of health. *Research Policy* 11(1)3-13.
- Weisbrod B 1991. The health care quadrilemma: an essay on technological change, insurance, quality of care, and cost containment. *Journal of Economic Literature* 29(2):523-552.
- World Bank 1993. *World Development Report 1993: Investing in Health*. Oxford University, Oxford.
- WHO – World Health Organization 1996. *Investing in health research and development*. TDR/Gen/96.1. Disponível em <[www.who.org](http://www.who.org)>.
- WHO – World Health Organization 1999. *World Health Report: making a difference*. Geneva. Disponível em <[www.who.org](http://www.who.org)>.
- WHO – World Health Organization 2001. *Macroeconomics and health: investing in health for economic development. Report of the Commission on Macroeconomics and Health*. Geneva. Disponível em <[www.who.org](http://www.who.org)>.

Artigo apresentado em 8/12/2003

Aprovado em 17/2/2004

Versão final apresentada em 2/3/2004