



Universidade de São Paulo
Instituto de Pesquisas Econômicas

Programa de
Seminários Acadêmicos
5ª feira

Biotecnologia na Agricultura e Inovação
Tecnológica: Novas Questões, Novos
Desafios

JOSÉ MARIA F. J. DA SILVEIRA

IE-UNICAMP

Seminário nº 19/2005 – 10/11/2005

São Paulo

2005

Biotecnologia na Agricultura e Inovação Tecnológica: novas questões, novos desafios

José Maria F.J. da Silveira*

Maria da Graça D. Fonseca*

Apresentação

Há aproximadamente 50 anos uma descoberta fundamental possibilitaria surgimento de um novo paradigma tecnológico (na formulação de Dosi ,1982), baseado na manipulação “direta” dos seres vivos, ou seja, na possibilidade de manipulação gênica: a formulação do modelo do código genético, por Watson e Crick. Abrindo as portas para inovações radicais, a descoberta de que seria possível trabalhar com o código genético dos seres vivos ao ponto de obter novas combinações, com novas características – algumas delas impossíveis de serem obtidas pelos métodos tradicionais – criou novos campos de pesquisa, uma gama imensa de serviços tecnológicos, um ramo da indústria de equipamentos, novos insumos e novos produtos, além de processos que de algum modo passaram a competir com os processos convencionais, principalmente nas áreas de agricultura e saúde humana.

No início dos anos 90 havia a crença arraigada, principalmente por parte dos representantes das organizações envolvidas em P&D&I na União Européia (EU), de que os avanços da biotecnologia se dariam fundamentalmente no campo da saúde humana, criando novos produtos, principalmente em segmentos de classes terapêuticas em que a produção pela via de síntese química ou mesmo semi-síntese fosse muito cara, por exemplo, certos hormônios e moléculas de grande complexidade, como o *interferon*.

No mesmo período, um certo ceticismo marcou o caso da biotecnologia aplicada à agricultura. Cabe apontar algumas razões: a) a tecnologia não “pareava” com a evolução da política agrícola da EU, baseada em fortes subsídios e com a visão de espaço rural e território cada vez mais influente (e não só na academia, mas sobre a

* Doutor em Economia, Prof. do Instituto de Economia da Unicamp e Coordenador do Núcleo de Economia Agrícola do IE/Unicamp. Pesquisador do GEOP/IG-Unicamp. jmsilv@eco.unicamp.br

▼ Pós Doutora, Universidade de Manchester, Prof. do Instituto de Economia da UFRJ e Presidente em exercício da International J.Schumpeter Association. mariadgfonseca@yahoo.com.br

burocracia da EU)¹; b) a percepção de organizações sociais seria distinta daquela relacionada à indústria farmacêutica e saúde humana, uma vez que ao afetar o padrão alimentar, permitia aos inovadores interferir inclusive nos valores culturais. Tal percepção aproximaria, conceitualmente, os organismos geneticamente modificados a instituições do tipo franquia, identificadas com o capitalismo dos EUA; c) os ambientalistas fariam severas restrições à liberação em larga escala de organismos manipulados pelo homem, alguns deles com potencial de transferência de genes para espécies nativas, criando novas plantas, até então inexistentes na natureza; d) finalmente, essas inovações se originaram do sucesso de corporações com base nos EUA, notadamente Monsanto, propiciando o monopólio de uma tecnologia veiculada por um insumo básico da agricultura, as sementes melhoradas.²

A esta lista repleta de argumentos contrários à difusão da biotecnologia agrícola³, correspondeu um conjunto de ações regulatórias com deliberado intuito de adiar decisões, mais do que construir um corpo de regras e normas adequadas ao tratamento dos possíveis impactos das inovações. O chamado “Princípio da Precaução”, parte da Convenção de Diversidade Biológica, pode ser considerado o “guia” dessas ações, ao considerar que não havendo certeza (sic) de não haver risco de uma nova tecnologia, não se deve moderar esforços para evitar seus possíveis impactos negativos (versão livre dos autores).

¹ É o caso do hormônio de crescimento bovino, obtido por técnicas de Dna recombinante, ou seja, por técnicas da moderna biotecnologia. Seu maior defeito é aumentar produtividade de um rebanho subsidiado, cujo principal objetivo é auxiliar pequenos agricultores na tarefa de preservar as características do território.

² Uma simples idéia: é possível não utilizar pesticidas agrícolas e até mesmo adubo, o que em linhas gerais caracterizaria o cultivo orgânico. Todavia, seria impossível prescindir do uso de sementes. O monopólio, segundo a visão de grupos sociais posicionados na questão, ocorreria em virtude da seleção tecnológica realizada pelas corporações. (vide Pessanha e Wilkinson, 2005)

³ O caso da biotecnologia agrícola ilustra bem o fato de que o processo de difusão de inovações, mesmo na agricultura não depende apenas das decisões individuais dos adotantes, em face ao lucro esperado, sua impaciência e os correspondentes custos de adoção. Os processos de geração e difusão de inovações, exceto em casos particulares, não devem ser tomados como independentes. Caberia aos inovadores antecipar as restrições e obstáculos impostos pela aceitação da tecnologia em vários níveis. (ver Hall e Martin, 2005).

Opor-se ao desenvolvimento científico e tecnológico em pleno Século XXI é difícil e inconveniente (ver Hall e Martin, 2005). Impor formas de controle à tecnologia, usando os aparatos regulatórios existentes e prescrevendo a criação de novas instituições passou a fazer parte de uma estratégia para ganhar tempo. Para alguns militantes ambientalistas, esta seria uma forma de impedir o desenvolvimento da biotecnologia agrícola. Para representantes dos consumidores, uma garantia a mais de seu direito de informação. Para os opositores ideológicos do capitalismo dos EUA e das grandes corporações, uma oportunidade para minar-lhes os lucros, uma vez que os investimentos em pesquisa já foram realizados e os retornos dependem de forma crucial do tipo de regime regulatório adotado. Vale lembrar que a EU é grande importadora de alimentos, principalmente dos EUA, Brasil, Argentina, Canadá e Austrália.

Tal cenário, descrito a partir da curta história da regulação contrasta com um fato muito claro: os 4 eventos relacionados a organismos geneticamente modificados (OGM) lançados desde 1996 lograram um enorme sucesso de difusão, alcançando em pouquíssimos anos mais de 80 milhões de hectares cultivados, distribuídos de forma bastante desigual em 18 países (Silveira e Borges, 2005).

O objetivo deste texto é apresentar alguns enfoques de economia relacionados à biotecnologia, convergindo para a discussão sobre a biotecnologia agrícola na atualidade. O tratamento dessas questões pode parecer limitado à primeira vista, mas o intuito é mostrar seu elevado grau de complexidade, conceitualmente desdobrada em temas referentes: à relação entre complexidade e ambigüidade em biotecnologia; b) o papel do esgotamento de trajetórias tecnológicas no surgimento de um novo paradigma e vice-versa; c) a rigidez organizacional da Firma Inovadora em Biotecnologia (FIB) . Esses temas são tratados na segunda seção do trabalho e de certa forma ilustram como a biotecnologia e especificamente a biotecnologia agrícola é tratada por diferentes visões teóricas em economia.

Antes de tratar desses pontos, cabe uma discussão mais ampla sobre a evolução recente da biotecnologia em geral, parte de fundamental importância e que inicia o trabalho.

Elementos Característicos da Moderna Biotecnologia

A palavra biotecnologia não foi criada na esfera científica. Ela foi inventada em *Wall Street*, para expressar um conjunto de conhecimentos, técnicas e ferramentas que podem ser usadas para produzir produtos úteis ou avançados experimentos científicos

desenvolvidos em geral por empresas jovens e tecnologicamente dinâmicas (Teittelman,1989). Na sua origem científica, ela está ligada à duas descobertas importantes:

- a) DNA *recombinante*, desenvolvida conjuntamente por Stanley Cohen, da Universidade de Stanford e Herbert Boyer, da Universidade da Califórnia, em 1973⁴;
- b) Procedimentos científicos e tecnológicos para produzir anticorpos monoclonais, desenvolvidos por César Milstein e Georges Kohler na Universidade de Cambridge, em 1975, posteriormente reconhecida como tecnologia do “Hybridoma”.

O potencial inovativo dessas duas descobertas não levou muito tempo para ser reconhecido, o que acontece em 1976 quando a Genentechh, é fundada pelos mesmo descobridores do DNA recombinante. As duas invenções forneceram o conhecimento básico em torno qual se desenvolveram outras inovações biotecnológicas importantes ao lado do *engineering* de proteínas.

A biotecnologia é provavelmente o campo onde se observa a importância crescente da interação entre os universos da ciência, da pesquisa tecnológica e da produção industrial. Mais do que qualquer outra atividade industrial moderna a natureza da pesquisa básica em biotecnologia é fortemente orientada pela busca do tipo de inovação que faz erodir as fronteiras entre ciência e tecnologia.

Devido à sua estreita ligação com a atividade científica, a biotecnologia é classificada pelos economistas como um *science based sector* (Pavitt, 1985). A diferença com outras indústrias intensivas em ciência, como a indústria de informática, pode ser explicada pelo fato de que o “chão da fábrica” é o próprio laboratório de pesquisa. Mais ainda, no caso da biotecnologia, a descoberta e o desenvolvimento de processos, produtos e serviços são resultado de diferentes combinações de “blocos” de conhecimentos científicos puros – muitos ainda estágio inicial - com um conjunto de ferramentas derivadas da biologia e genética tradicionais⁵. Neste sentido, a biotecnologia pode ser definida como,

“ um bloco de conhecimentos e informações tecnológicas combinando protocolos e metodologias de pesquisa utilizadas no estudo da biologia

⁴ Também chamadas de gene *splicing*, engenharia genética ou recombinação genérica.

⁵ Estas ferramentas tradicionais também envolvem a pesquisa e desenvolvimento de produtos através da manipulação de organismos, sistemas e processos em humanos, animais e plantas (modificação de genes, células de sangue, proteínas e outras substância vivas.

da célula, da genética, da bioquímica, entre outras matérias, com novos conceitos científicos derivados de disciplinas que não existiam há alguns anos atrás _ como biologia molecular, genômica funcional e proteômica _ e, também, com as ciências da computação e da informação⁶ (Ver Fonseca, 1999).

O aparecimento da biotecnologia na academia é simultâneo ao aparecimento do chamado bio-negócio, ou bio-business. O potencial comercial da biotecnologia se revela em meados da década de 70, e em inícios dos anos 80, quando são fundadas as primeiras empresas privadas com o objetivo de comercializar os produtos da engenharia genética (Cetus, a Genetic System, a Genentech e a Biogen). As novas empresas são formadas por associações entre cientistas e empresários inovadores apoiados por capital de risco (venture capital) e, em geral, são respaldadas por políticas governamentais. Em alguns casos, especialmente na Europa, são abertamente subsidiadas. De um modo geral são constituídas por cientistas oriundos de laboratórios de pesquisa públicos ou de universidades⁷.

A partir da década de 70, embriões de empresas de biotecnologia farmacêutica e química são formados por cientistas de universidades e laboratórios públicos e, com a ajuda de agentes e capitalistas de risco. Nos Estados Unidos, milhares destas empresas transformam-se em empresas de capital aberto através de ofertas públicas representando, elas próprias, uma nova força competitiva capaz, inclusive, de desafiar o *poder de mercado* das indústrias tradicionais, como indústria farmacêutica e algumas indústrias oriundas da química fina. Outras são absorvidas por empresas maiores do setor farmacêutico ou do ramo de agronegócio.

Desta forma, a primeira geração de empresas de biotecnologia mostrou ser capaz de mobilizar conhecimento científico e tecnológico gerado nas universidades e tentando transformar comercialmente este conhecimento em produtos e serviços para a indústria

⁶ A biologia molecular é a área disciplinar em torno da qual se articula todo o grupo de conhecimentos básicos e tecnologias denominado como biotecnologia e que leva cientistas a manipular e replicar os genes e células.

⁷ A Genentech foi fundada pelo próprio Boyer para atuar no desenvolvimento de produtos biotecnológicos para o agronegócio e ferramentas de diagnóstico. Só posteriormente passou a comercializar produtos para o mercado farmacêutico, o seu empreendimento mais bem sucedido.

farmacêutica. No entanto, com notáveis exceções, elas ainda não tinham a experiência necessária para atuar sobre testes clínicos e em atividades de marketing ou não possuíam ativos complementares para desenvolver aquelas atividades.

Esta primeira geração de empresas de biotecnologia farmacêutica desenvolveu um importante conhecimento científico para entender o processo envolvido nos mecanismos da proteína e para identificar os efeitos terapêuticos associados à sua produção. No entanto, depois de três décadas de existência, pouco mais de 165 inovações, drogas, vacinas e diagnósticos conseguiram ser aprovados pelos órgãos reguladores norte-americanos. Por esta razão, um agente de investimento da Bolsa de New York disse que “uma empresa de biotecnologia é uma companhia farmacêutica sem vendas” (The Economist, 20/03/,2003).

Observe-se que as dificuldades que se antepõem ao desenvolvimento de produtos das empresas de biotecnologia farmacêutica não são muito diferentes das que dificultam o desempenho contábil das grandes corporações da indústria farmacêutica, em especial, a lentidão dos resultados obtidos nos laboratórios e o rigor dos testes de *biodisponibilidade* e *bioequivalência*. O seu primeiro produto, insulina humana, foi aprovado apenas em 1982. De 1982 a 1992, apenas 16 medicamentos foram aprovados nos Estados Unidos e apenas dois tiveram sucesso comercial. São eles, a *insulina*, da Genentechh & Lilly, o *tPA* (1987) da Amgen & Ortho e o *erythropoietin* (1989) da Genentechh (MacKelvey,1996).

Comprovando a idéia de o termo “biotecnologia” nasceu em *Wall Street*, a Tabela 1 abaixo permite observar as características das empresas de biotecnologia após o estouro da “bolha Nasdaq” (Fonseca, Silveira e Lages, 2004). Trata-se de um investimento típico de uma fase pré-paradigmática”⁸(Ronde, 1993), que já dura mais de dez anos: empresas financiadas pelo sistema financeiro com base em uma avaliação de seu valor muito superior ao que seria “seu custo de reposição”, este último em grande parte compreendido pela linha referente aos “gastos com P&D”. Tal é a especificidade dessas “empresas” que um dos indicadores de desempenho utilizados é a chamada *burning rate*, que mede a parcela da renda líquida é financiada pelo mercado a cada ano.

O interessante é que ao invés de ocorrer uma convergência derivada de um processo de seleção tecnológica (ver Metcalfe, 1997), a variedade tecnológico foi

⁸ Definiremos essa noção com um pouco mais de rigor na seção seguinte do trabalho.

ampliada com o surgimento dos chamados “genoma” (Dal Poz, Silveira e Fonseca, 2004).

Tabela 1. Características das Empresas de Biotecnologia

	Global	EUA	Europa	Canadá	Asia
Número de Companhias	4284	1457	1879	416	532
Rendimento (mil US\$)	34874	25319	7533	1021	1001
Gastos com P&D (mil US\$)	16427	11532	4244	474	175
Renda Líquida (mil US\$)	-5933	-4799	-608	-507	-19
Empregos	188703	141000	34180	7005	6518

Fonte: Ernst&Young, 2002-04

Vale mencionar que ao longo deste processo, ao invés de ocorrer uma convergência derivada de um processo de seleção tecnológica (ver Metcalfe, 1997), a variedade tecnológico foi ampliada com o surgimento dos chamados “genoma” (Dal Poz, Silveira e Fonseca, 2004). Tal fenômeno deu oportunidade para uma nova “rodada” de financiamentos, com desdobramentos até no Brasil, país em que o grupo Votorantim realiza investimentos de risco (*venture capital*) em empresas de biotecnologia agrícola, resultantes do projeto ONSA-FAPESP(*spill outs*). Tal situação, a despeito da ênfase no caráter de bio negócio dada à biotecnologia, prolonga a fase pré-paradigmática e a convivência com as tecnologias tradicionais, que supostamente serão deslocadas pela trajetória (bio)tecnológica emergente.

Um Novo Ambiente Institucional

A complexidade da biotecnologia e a dificuldade de comercialização de boa parte de seus produtos e serviços levou os empreendedores a buscar novas formas de organização cujo *modus-operandi* acabou por alterar os próprios fundamentos de constituição das firmas, redesenhando seus limites e o de seus mercados e reestruturando-os sobre novas bases econômicas e institucionais. De forma mais radical do que aconteceu na década de 60 com a então emergente indústria de informática, as pesquisas básica e aplicada, o processo de fabricação e as atividades de desenvolvimento da biotecnologia passaram a se encadear. Desenvolveu-se um processo em que essas firmas se condicionam reciprocamente.

Estas novas formas de organização configuram o que se pode chamar de *sistema setorial de inovações biotecnológicas* do qual fazem parte as empresas de biotecnologia, seus fornecedores, clientes, os conjunto de laboratórios de pesquisa governamentais e outros agentes individuais e organizações com os quais as firmas de biotecnologia mantêm de relações contratuais de longo prazo ⁹. Este sistema setorial de inovações é estruturado de forma a possibilitar a transferência de ativos financeiros, de capital humano e complementares em escala planetária e não apenas nacional.

Além de representar uma solução institucional às dificuldades de realização de seus produtos e serviços no mercado, o sistema setorial de inovações pode representar uma solução à complexa articulação do conhecimento científico e tecnológicos por blocos de competência (Eliassom & Eliassom,1996).

Como elementos constitutivos destes sistemas poder-se-ia mencionar a presença de *redes* institucionais de apoio à mobilidade de recursos financeiros e ativos de capital humano bem de infra-estrutura de laboratórios e equipamentos. No entanto, a existência de uma estrutura de direitos de propriedade relativa aos ativos transacionados através destas redes constitui o ponto de partida para o desenvolvimento das atividades de biotecnologia e a sua organização institucional e econômica.

No caso do Brasil, por exemplo, sabe-se que apesar da estruturação em rede das atividades de pesquisa de ponta em biotecnologia, especialmente das redes de pesquisa genômica há uma evidente falta de oportunidades de negócios em função da falta de recursos públicos e privados. Além disso, faltam importantes peças institucionais na definição das *regras do jogo* de proteção à apropriação dos recursos investidos em atividades científicas e tecnológicas.

Os dois desenhos institucionais básicos apresentados pela literatura de sistemas setoriais de inovações são: o sistema de *mercados*, do qual os Estados Unidos e a Inglaterra são citados como exemplos, e o *sistema de mercados coordenados*, onde se destacam Alemanha e Suécia. Nos sistemas de mercados coordenados, o estado estabelece o suporte básico para o desenvolvimento tecnológico, embora possam se estabelecer associações entre os negócios privados, universidades e fundos de financiamento. O financiamento à inovação é basicamente ancorado no sistema de crédito extra-mercado, embora também se desenvolvam modalidades financiamento através de capital de risco, em geral amparadas pelo Estado como mostra o exemplo

⁹ A idéia de sistema setorial de inovações é desenvolvida basicamente por Malerba (2004).

recente de alguns países da Europa. Nesta modalidade institucional o padrão de desenvolvimento das inovações é fortemente influenciado pelos estados nacionais e por suas prioridades (MacKelvey,1996).

Já as economias de mercado - cujas características de parte de seus participantes foram bem sintetizadas na Tabela 1, acima - detêm um desenho institucional mais flexível, baseado no apoio a empresas inovadoras emergentes e na descontinuidade da inovação radical (id.ib). Esta flexibilidade é, em geral, complementada por um aparato de regulação, cuja importância varia de país para país¹⁰. Os seus padrões de decisões empresariais são baseados em modelos avançados de *governança corporativa* e o financiamento das atividades empresariais se ancora em capital de risco, especialmente em *venture capital*. Além disso, a estrutura de propriedade das empresas é diversificada e o seu controle pode ser negociado publicamente nos mercados de ações. Além disso, decisões estratégicas destas companhias abertas são influenciadas pela necessidade de obtenção de retornos rápidos.

Mencione-se, também, a facilidade com que investidores adquirem e, ao mesmo tempo, *se desfazem* de suas participações. A ampla mobilidade de capitais facilita tanto o acesso quanto a saída dos empreendimentos de recém-inaugurados. Isso motiva a existência de diferentes padrões de risco, que podem ser assumidos pelos investidores privados e institucionais. Na realidade, mais do que a entrada, a capacidade dos países de economia liberal em proporcionar boas opções de saída para os investidores, especialmente em se tratando de empreendimentos inovadores de alto risco, constitui uma pré-condição para a existência de formas de financiamento de risco e do próprio *venture capital*.

Observe-se, no entanto, a necessidade de se ter uma bem definida estrutura de incentivos baseada em direitos de propriedade intelectual de forma a garantir a remuneração do conhecimento gerado, ajudando a criar um ambiente favorável à obtenção de capital de risco. Notoriamente, o *venture capital* tem sido a forma preferida de financiamento dos empreendimentos inovadores de informática e biotecnologia na América do Norte e na Inglaterra, tendo se estendido recentemente para a Alemanha,

¹⁰ Ver Dal Poz, Silveira e Fonseca (2004) para uma comparação entre os regimes de direitos de propriedade intelectual nos EUA e nos países da EU, dicotomia que se aproxima classificação sobre o regime de financiamento, feita acima, com as devida ressalva, válida também aqui, de que há uma convergência para algumas características do modelo americano.

França, Nova Zelândia, Israel e Coréia. Nos Estados Unidos, inclusive, praticamente todas as empresas de biotecnologia farmacêutica foram fundadas através deste tipo de empreendimento. No caso dos países europeus, a oferta de recursos para a inovação direcionada para grandes instituições públicas de pesquisa, geralmente coordenadas pelo Estado, e em cooperação com grandes laboratórios privados, não tem se mostrado competitiva. Os diagnósticos e relatório de desempenho apontam, em geral, para um *gap* de dinamismo quando comparado ao sistema de mercado, como o norte-americano e canadense.

Para alguns autores, o capital de risco desempenha o papel de amálgama entre tecnologia, academia e finanças (Teittelmen, 1990). Ele o faz, antes de tudo, fornecendo recursos financeiros para os futuros empreendedores acadêmicos. O *venture capital* tem cumprido o papel de, primariamente, fornecer uma *alavanca* para a obtenção de recursos e secundariamente, de fortalecer os novos empreendimentos, fornecendo apoio gerencial e capacidades organizacionais. Nestas funções, os capitalistas financeiros ajudam a estabelecer pontes entre a ciência e os mercados e acabam, também, desenvolvendo seu conhecimento sobre ciência e tecnologia.

A Economia da Biotecnologia: esboço de algumas questões relevantes

A despeito da clareza com que a seção anterior descreveu o cenário de complexidade da biotecnologia, mostrando que “a coisa funciona”, ainda que sobre bases inusitadas de organização empresarial e de financiamento (a história das empresas *ponto.com* e mesmo das empresas de *software* também são pouco usuais, não se tratando de simples casos de indústria nascente), há muito que desvendar no tratamento da biotecnologia.

A corrente neo-schumpeteriana ou evolucionista (ver Dosi, 1982; Nelson e Winter, 1982) trata principalmente das inovações em curso, da caracterização e desdobramento das trajetórias tecnológicas. Um esboço dos processos estocásticos de “alargamento das tipologias” que fundam um paradigma tecnológico foi apresentado em Chiaromonte, Orsenigo e Dosi (1993), enfatizando, todavia, a inadequação do novo ao processo de aprendizado em curso pelas empresas inovadoras responsáveis pelo avanço da trajetória tecnológica. Como explicitamente menciona Ronde (1993), há pouco conhecimento da situação em que emerge um paradigma, mas muito se avançou no conhecimento dos processos em curso.

A Figura 1, acima, mostra que ao se “caminhar” ao longo de um raio de 45° a partir de sua origem, aumenta a complexidade e a ambigüidade, situação tenebrosa, cuja causa está justamente na dificuldade de coordenação das ações entre agentes. O conceito de ambigüidade estaria associado à idéia de incerteza radical, mas aceitando que seria possível definir situações de maior ou menor grau deste atributo do processo atual (pós-moderno) de inovação.

Uma situação ambígua seria caracterizada pela dificuldade em definir os interesses e o papel dos envolvidos na discussão. Por exemplo, sabe-se que a biotecnologia moderna é imprescindível para a identificação, catalogação e mesmo valoração da biodiversidade em um país mega-diverso como o Brasil. Todavia, os mesmos grupos defensores da biodiversidade posicionam-se por um regime regulatório severo, com base na Convenção de Diversidade Biológica, que ampara a exploração da biodiversidade.

Assuntos de elevada complexidade do ponto de vista de coordenação, como relacionados à incerteza organizacional, podem, todavia, serem pouco ambíguos: o tipo de *stakeholder* envolvido tem objetivos claros e geralmente proposições assemelhadas a seus pares no que tange ao aparato regulatório.¹¹ Divergem, como será tratado a frente, no que tange ao desenho organizacional, da estrutura de governança de empresas, associações e mesmo de grupos de interesse, portando um nível de complexidade e de incerteza maior que o que envolve as atividades técnico-científicas.

Caminhando em direção à origem, percebe-se que os corpos técnico-científicos das organizações (não só de pesquisa, mas também as firmas e as quase-firmas de grandes corporações) são capazes de definir rotinas de busca capazes de reduzir a complexidade, o que, entretanto, não lhes garante o sucesso do esforço de pesquisa, que continua sujeito a processos estocásticos.¹²

¹¹ Envolvendo biodiversidade, biossegurança e direitos de propriedade intelectual. Ver Dal Poz, Silveira e Fonseca (2004).

¹² Por exemplo, o “Recursos Públicos para a Propriedade Intelectual em Agricultura” (PIPRA), organização de 27 Universidades, lideradas pela Universidade da Califórnia, é capaz de resolver os complexos problemas colocados pela atribuição de direitos de propriedade às tecnologias de base para a biotecnologia (*enabling technologies*), deixando para o campo dos conflitos o que seria o “core”, baseado nos interesses que não podem ser atendidos pelo processo de cooperação. Por exemplo, o caso de uma firma de biotecnologia que detenha a

Concluindo, o que se percebe na observação da Figura 1 é que ambigüidade torna-se ativa em situações de elevada complexidade, que não são e não podem ser resolvidas no campo técnico-científico. No limite, uma situação de elevada incerteza (elevada complexidade e ambigüidade) levaria à paralização (mesmo que temporária) do esforço de pesquisa e de comercialização das inovações, o que de certa forma caracteriza a situação brasileira em relação aos OGM. O resultado desta situação seria uma maior influência do social na própria definição das trajetórias tecnológicas. O processo de seleção, definidos nos modelos evolucionistas de maneira bastante simples, pela ação do mercado,

A riqueza envolve a biotecnologia emerge na importância dada à noção de esgotamento tecnológico como “gatilho” de uma antecipação racional dos agentes a uma situação de “fim de trajetória”. Não cabe no escopo deste texto detalhar o tratamento da questão, mas algumas considerações podem ser feitas, com foco na biotecnologia agrícola.

Para tanto, cabe apresentar algumas de suas especificidades, alguns fatos estilizados que diferenciam a biotecnologia agrícola do que foi descrito até aqui. Seriam os seguintes pontos:

- a) A biotecnologia agrícola, até o presente momento, não apresenta produtos novos de interesse do consumidor e sim potencializa velhas tecnologias, ao alterar a forma de difundir inovações, o que acarreta mudanças em alguns processos produtivos na agricultura (Silveira, Dal Poz e Fonseca, 2004);
- b) Seu principal instrumento de difusão até o momento são as sementes melhoradas, cujas características principais são a divisibilidade, baixo custo de produção, ausência de custos afundados (o que não é o caso da pesquisa biotecnológica) e baixo custo de adoção;
- c) As empresas de biotecnologia adquirem empresas de sementes em função dos mecanismos de apropriabilidade vigentes em cada país e da própria força da indústria de sementes. Em países mais pobres, a solução simples é exportar sementes, o que é factível, mas não ideal;

patente de um processo de transferência de genes muito mais eficiente que qualquer outro à disposição dos pesquisadores.

- d) As tecnologias disponíveis, constituindo a geração inicial das inovações biotecnológicas (inovações de primeira geração) substituem insumos químicos, principalmente herbicidas e inseticidas, ainda quer parcialmente.

Este último ponto remete à questão mencionada, da antecipação racional do fim de trajetória, o que implica formação de crenças e de decisões que recursivamente as vão refinando em função dos resultados obtidos. Ao contrário das empresas de biotecnologia descritas nas seções iniciais do trabalho, a biotecnologia agrícola é gerada por poucas empresas especializadas, as chamadas “empresas de ciências da vida”, a saber, Monsanto (líder), Syngenta, Bayer, Basf, Dupont, além do esforço público de universidades (principalmente dos EUA), da China, Índia e Brasil (em muito menor dimensão).

As duas primeiras empresas já podem ser tomadas como resultado do processo descrito na Figura 1. Ao invés de estarem confortavelmente aninhadas em grandes corporações diversificadas, tornaram-se grandes empresas especializadas, depois de processos de *spin off* determinados pelo receio dos acionistas de que seus investimentos fossem confundidos com atividades de produção de OGM. Em outras palavras, a percepção de risco de outros *stakeholders*, muito menos diretamente envolvidos no uso, manipulação, difusão da biotecnologia agrícola, afetou a percepção de investidores, estes sim, tomadores de risco. Desta forma, seria relevante entender não apenas o esforço dos investidores em biotecnologia, mas o processo de reconversão de investimentos de uma atividade – a produção de insumos agrícolas tradicionais – para outra, a biotecnologia moderna.

Apenas para ilustrar o processo, tomaremos alguns pontos enfatizados por Ronde (1993), aqui diretamente adaptado à questão da biotecnologia agrícola.

Resumidamente:

- a) considere o esforço de pesquisa de uma firma, representado por gastos de pesquisa x_i , que se acumulam por uma função $g(x_i)$, bem comportada (derivada primeira positiva, derivada segunda negativa, limite quando x tende a infinito com valor definido e processo de crescimento não explosivo);
- b) Define-se uma função de esforço acumulado $z(t)$, em que

$$z(t) = \int_0^1 g[x(s)]ds \quad (1);$$

- c) Com isto, tem-se uma função de repartição que fornece a probabilidade que uma inovação ocorra em t ou depois, correspondendo ao esforço acumulado definido em (1). Tal função permite o cálculo de uma taxa de sucesso,

$$h(z) = \frac{(dF/dz)}{(1-F(z))}, \text{ que define a probabilidade de sucesso de um pequeno}$$

esforço suplementar dz .

A hipótese definidora do modelo é que a perda de confiança no paradigma (no caso, da obtenção de novos insumos de origem não-biotecnológica, insumos químicos) conduz os agentes à previsão de maiores esforços necessários para uma nova descoberta. Ao invés de aceitar passivamente tal situação – em parte usando seu poder de mercado para repassar esses custos para os agricultores – esta motiva comportamentos desviantes, representados aqui pelo esforço gigantesco de pesquisa da Monsanto e sua principal seguidora, Syngenta. Esta descrição define o que foi chamado acima de fase pré-paradigmática, que caracteriza a biotecnologia atual.

O desenvolvimento do modelo, umas situações podem ser antecipadas¹³:. Na ausência de efeitos externos, *spill overs* entre empresas, a decisão de inovar assume três possibilidades:

- a) As firmas desistem de inovar. Neste caso, seria racional não recuperar jamais o investimento em pesquisa, o que implica em uma obsolescência progressiva dos ativos das empresas (caso de firmas hoje com menor porte no setor de pesticidas), que sobrevivem em função da desigualdade existente entre os níveis tecnológicos da agricultura;
- b) As firmas inovam por abaixo do nível em que o gasto ficaria constante. Esta trajetória convergiria para a parada do investimento. Vale notar que o efeito do gasto x_i em z passa pelo viés da função $g(x_i)$, de forma que mesmo um gasto constante resulte em $z'=0$, um ponto em que o conhecimento não se acumula mais; Tal trajetória corresponderia a uma situação em que o esforço progressivamente perderia sua eficiência em termos de sucesso da inovação;
- c) Poderia existir uma situação em que mesmo deixando de lado a rivalidade entre os participantes do processo, em um período inicial a antecipação do esgotamento de trajetória motivasse uma corrida aos investimentos de pesquisa, como que acreditando que o ponto em que a taxa de sucesso

¹³ Tais hipóteses podem ser tratadas pelo uso de técnicas de controle ótimo, por exemplo.

passasse a ser decrescente estivesse ainda por aparecer, mas conscientes de que isto viria a ocorrer no futuro.

Finalmente, a presença de efeitos de transbordamento (*spill overs*) faria os agentes descartarem a hipótese de parada de investimento em pesquisa, já no momento inicial da trajetória. A presença de efeitos externos faria com a variável z , de esforço acumulado passasse a ser afetada pelo tempo, e não apenas, fosse indexada temporalmente. Neste caso, investir em P&D significaria a possibilidade de aproveitar o efeito comum de transbordamento gerado pelas firmas participantes da trajetória em esgotamento. Tal percepção geraria gastos crescentes, o que é confirmado pela experiência atual da indústria de pesticidas, em que algumas corporações de certa forma se levam em conta o elevado nível de incerteza da biotecnologia agrícola para justificar investimentos em pesquisas cujas taxas de sucesso diminuem progressivamente.¹⁴

Infelizmente o poder de previsão de tal teoria é extremamente limitado, ainda que se tenham casos em que, caracterizando a fase pré-paradigmática, o mesmo processo ocorra dentro biotecnologia agrícola. A percepção de que a taxa de inovar em uma certa sub-trajetória da biotecnologia estaria perdendo fôlego, motivaria comportamento desviantes, ainda que neste caso, a mudança não fosse radical, propiciando ao inovador usar grande parte do conhecimento comum originado da trajetória próxima (o que corresponderia ao resultado de investimentos crescentes, mencionado acima).

De certa forma a ruptura originada pelo uso de OGM na agricultura não seria tão forte se não envolvesse a redefinição do marco regulatório, gerando incertezas do tipo ilustrado pela Figura 1, acima. As funções dos OGM na agricultura substituem a compra de pesticidas pela compra de sementes transgênicas, mais caras que as sementes comuns (ao menos em tese) por terem embutidas novas tecnologias poupadoras de insumos modernos.

Cabe uma rápida passada pelos marcos da Nova Economia Institucional. Argyres e Liebeskind (2001) investigam as razões para que a ocorrência de integração vertical, pela via de aquisições seja tão pouco freqüente em biotecnologia, pelo menos

¹⁴ Na prática, tal taxa pode ser medida pelo período médio para obtenção de um sucesso na forma de um novo produto. A noção de efeitos externos materializa-se nas “famílias” de produtos em torno das quais as empresas definiram suas “classes fitoterapêuticas”. Tal convenção é rompida no período de “final de trajetória”, como apontam Silveira, Dal Poz e Fonseca (2004).

nos EUA, em que predominam as FIB, (empresas cujas informações foram apresentadas na Tabela 1, acima).

A análise se funda em um conceito de “inseparabilidade da governança”, que em resumo significa que quando uma FIB estabelece contratos em algum ponto de sua “vida”, ela tem dificuldade em redefinir contratos que caracterizem uma nova fase. Os autores adaptam a idéia de *path dependence* à situação contratual das FIB. Por exemplo, uma firma bem sucedida que vai ao mercado por meio de uma oferta pública (inicial ou *follow up*) corre o risco de ter seu controle acionário nas mãos de uma grande corporação, que ao invés de assumir um claro comportamento desviante, prefira monitorar empresas de biotecnologia “ao alcance do braço”.

Segundo Argyres e Liebeskind (2001) tal situação representaria um desconforto para o corpo técnico-científico da FIB, incapaz de aceitar os novos mecanismos de governança característicos do sistema de incentivos de uma empresa de grande porte. Em muitos casos, a solução encontrada foi de aumentar a independência das firmas controladas, deixando para seus dirigentes a definição dos mecanismos adequados de controle. Tal choque cultura e de percepção do papel dos incentivos dificultaria as estratégias de integração vertical.

Curiosamente tal modelo não se aplicaria à biotecnologia agrícola, uma vez que as grandes corporações continuam a adquirir pequeníssimas empresas de semente, tornando-se, para seu infortúnio, produtoras do insumo e não caçadoras e comercializadoras de genes e tecnologias afins. Não há um estudo aprofundado sobre este ponto até o momento, mas as pistas (ver Traxler, 2000) apontam para a fragilidade dos mecanismos de apropriabilidade, principalmente em países como Brasil, que não reconhecem patentes de genes. (Dal Poz, Silveira e Fonseca, 2004).

Observações Finais

O presente trabalho caracterizou a biotecnologia atual, em termos econômicos e apresentou algumas formulações teóricas sobre alguns pontos de interesse no assunto, além de por certo foco nas especificidades da biotecnologia agrícola, de especial interesse para o Brasil.

Mostra-se que da formulação mais geral, abstrata, da percepção da complexidade, ambigüidade e incerteza que caracterizam a biotecnologia para o efetivo tratamento analítico dos problemas há uma enorme distância a percorrer, principalmente pela dificuldade na definição de elementos que apontem para o final de sua fase pré-

paradigmática. Curiosamente, é no caso da biotecnologia agrícola, carregado de incerteza que chamamos social, que a tecnologia dos OGM parece ter apontado para uma forte convergência, na forma de 4 eventos de enorme impacto econômico (Silveira, e Borges, 2005). Este aparente paradoxo demanda a contribuição tanto dos enfoques evolucionistas quanto as explicações derivadas da Nova Economia Institucional. Talvez isto signifique que a situação pré-paradigmática da biotecnologia motive um saudável ecletismo em economia.

Bibliografia

- ARGYRES, N. & LIEBESKIND, J.P. (2001) Governance Inseparability and the Evolution of the U.S Biotechnology Industry. ISNIE CONFERENCE, Berkeley, 29p.
- ARTHUR ANDERSEN (1997,1999) UK Biotechnology 's 97,98,99. Andersen Worldwide.
- CHIAROMONTE, F; ORSENIGO, L. & DOSI, G. (1993). Innovative Learning and Institutions in the Process of Development. in Thomson, R. Learning and Technological Change. Macmillan Presse, 117-49.
- DAL POZ, M. E. et al.(2004) Direitos de Propriedade Intelectual em Biotecnologia: um processo de construção. IN. SILVEIRA, J. M. F. J. *et al* (Org.) Biotecnologia e Recursos Genéticos: Desafios e Oportunidades para o Brasil. Campinas: Instituto de Economia/FINEP.
- DAL POZ, M. E. et al. (2004) Políticas Governamentais de apoio à Pesquisa Genômica. IN. SILVEIRA, J. M. F. J. *et al* (Org.) Biotecnologia e Recursos Genéticos: Desafios e Oportunidades para o Brasil. Campinas: Instituto de Economia/FINEP.
- DOSI, G. (1982). Technological Paradigms and Technological Trajectories. *Research Policy*, 11, 147-62.
- ELIASSON,G.& ELIASSON,A.(1996). The Biotechnological Block of Competences. *Revue de Economia Industrielle*, V 2,3
- ERNST & YOUNG (2004) Annual Venture Capital Insight Report. Year in Review and Outlook 2003/2004.
- FONSECA et al.(1999). O Desenvolvimento da Biotecnologia no Brasil. Relatório ao PADCT/FINEP/S-BIO.
- FONSECA, M. G. D. *et al.* (2004) Biotecnologia Vegetal e Produtos afins: Sementes, Mudanças e Inculantes. IN. SILVEIRA, J. M. F. J. *et al* (Org.) Biotecnologia e Recursos Genéticos: Desafios e Oportunidades para o Brasil. Campinas: Instituto de Economia/FINEP.
- FONSECA,MG E AVILA,J(2005) FINANCIANDO EMPRESAS DE BIOTECNOLOGIA: UMA ANÁLISE PRELIMINAR. Relatório de Pesquisa ao CCEE (versão preliminar)
- HALL, J. & MARTIN, J.C. (2005). Disruptive technologies, Stakeholders and the innovation value-added chain. *R& D Management* 35,3, p273-284.
- MACKELVEY,M. (1996) *Evolutionary Innovation: the business of biotechnology*, Oxford University Press.
- MALERBA,F.(2002). Sectoral Systems of Innovation and production. *Research Policy*,31
- METCALFE, S.(1997). *Evolutionary Economics and Creative Destruction*. The Graz Schumpeter Lectures. Routledge, 1a. ed. 152p.
- NELSON, R. and WINTER, S. (1982) *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, MA, Harvard University Press.

- NVCA (2004). Venture Impact 2004 (www.nvca.org)
- OECD VC Database (www.oecd.org/dataoecd).
- RONDE, P. (1993) Analyse des conséquences d'une hypothèse de fin de trajectoire technologique au sein d'un modèle de R&D avec incertitude technologique. Université Louis Pasteur, Strasbourg. Working Papers, n^o 9314.
- SILVEIRA, J. M. F. J. *et al.* (2004). Biotecnologia no setor de saúde humana: *bio-commodities* e as fábricas biológicas. IN. SILVEIRA, J. M. F. J. *et al* (Org.) Biotecnologia e Recursos Genéticos: Desafios e Oportunidades para o Brasil. Campinas: Instituto de Economia/FINEP.
- SILVEIRA, J.M.F.J d; BORGES, I.C. e DAL POZ, M.E.(2005). Institutions and Biotechnology: building and efficient regulatory framework. ISNIE Conference, Barcelona, Pompeu Fabra University.
- TEITELMEN,R. (1989) *Gene Dreams. Wall Street, Academia and the Rise of Biotechnology*. Harper Collins Publishers - Basic Books
- THE ECONOMIST, November 27th –December 3rd 2004 Capitalism New Kings
- TRAXLER, G.,(2000). Assessing the benefits of plant biotechnology in Latin America. Conferência apresentada no BID, 7 de novembro de 2000.