

DESENVOLVIMENTO DA BIOTECNOLOGIA NO BRASIL¹

José Maria F. J. da Silveira²

Sergio L. M. Salles Filho³

RESUMO – Este artigo visou demonstrar que a emergência de novas biotecnologias está fortemente condicionada pelas trajetórias inovadoras e padrões correntes da indústria à montante da agricultura. O trabalho parte da idéia da existência de diferentes padrões tecnológicos setoriais. Utilizou a metodologia proposta por Pavitt (1984), em que a indústria química, a indústria de equipamentos e a agricultura são respectivamente enquadrados como “baseados na ciência”, “produtores intensivos ofertantes especializados” e “setores dominados por segmentos ofertantes”. Após rápida recuperação do desenvolvimento biotecnológico internacional, passou-se à análise de “estudos relevantes” para a questão biotecnológica no Brasil. Seguindo as “pistas” propostas por Pavitt e os principais resultados de trabalhos de pesquisas realizados, demonstrou-se que as inovações biotecnológicas se inserem de forma diferenciada nas indústrias a elas relacionadas. Há casos em que a questão biotecnológica sugere reforço à posição de empresas líderes nacionais. Em outros, o papel do esforço público é fundamental para o sucesso das pesquisas realizadas. Finalmente, há casos nítidos onde a busca de capacitação nacional visa reforçar posições em acordos a serem preferencialmente realizados com firmas inovadoras de destaque internacional. Não há, pois, uma única forma de enfrentar a questão do desenvolvimento da biotecnologia no Brasil. Todavia, tanto a formação de recursos humanos quanto o estímulo à criação da indústria de base biotecnológica no País são requerimentos básicos para o seu desenvolvimento.

Termos para indexação: agricultura brasileira.

THE DEVELOPMENT OF BRAZILIAN BIOTECHNOLOGY

ABSTRACT – The aim of this paper is to put forward that the emergency of the new biotechnologies is strongly led by the innovative trajectories and patterns of competition found in the industries linked to agriculture. It deals with the existence of different sectorial technological patterns using the Pavitt's (1984) methodology.

¹ Recebido em 15 de maio de 1987.

² Aceito para publicação em 10 de outubro de 1988.

³ Mestre do IE/UNICAMP, Área de Agricultura.

³ Mestre do IG/UNICAMP.

Following it, the chemical industry, equipments industry and agriculture are respectively considered "science based", "production intensive specialized suppliers" and "suppliers dominated sector". After a brief analysis of the international biotechnology development, it follows the study of recent and relevant development of biotechnologies in Brazil. Based on the Pavitt's study and on results obtained by us, we try to demonstrate that biotechnology innovations are introduced in different ways in the industries that were impacted by them. There were many cases where the biotechnology innovations require some political efforts to strength national leaderships enterprises. In others, the public sector effort is then main request to the success of the research in the area. Finally, there are clear cases when national skillfulness is seen as pre-condition to stablish agreements with leading innovative firms. There's no single way to challenge the questions of the development of Brazilian biotechnology. The efforts to human resources improvement as well to Brazilian biotechnology based industry support (conventional ones included) are fundamental requirements to its development.

Index terms: Brazilian agriculture.

CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O ESQUEMA ANALÍTICO ADOPTADO PARA ANÁLISE DOS ESTUDOS DE CASO

Em artigos recentemente publicados (Salles Filho 1986 e Silveira 1986a,b), procuramos desenvolver alguns aspectos conceituais que possibilitassem compreender o processo de geração e difusão de **técnicas de base biológica** a partir do início dos anos 70. Tais aspectos voltavam-se principalmente para identificar e interpretar os mecanismos que condicionaram o desenvolvimento recente da biotecnologia, e para conceituar, do ponto de vista técnico, os diferentes níveis de sofisticação tecnológica que podem ser identificados no conjunto de técnicas que compõem a biotecnologia.

A história recente da biotecnologia – anos 70 e 80 – mostra um caminho sinuoso, com fortes inflexões em curtos espaços de tempo. A rápida expansão nos 70, a retração do início nos 80 e a retomada, ocorrida de forma mais contida e seletiva, a partir de 1983, podem ser interpretadas segundo a ação de pelo menos quatro determinantes: as limitações técnico-científicas, o processo de reordenação industrial em nível internacional, os distintos níveis de apropriabilidade do esforço em P & D e o grau de envolvimento e o tipo de ação do Estado nos diferentes países.

Esta interpretação, feita a partir de um curto período histórico, originou-se, em grande parte, pela própria tentativa de compreender, do ponto de vista técnico-econômico, quais são os níveis tecnológicos presentes na biotecnologia, se esta for entendida em seu sentido mais amplo. A conceituação dos três níveis tecnológicos – tradicional, intermediário e de ponta – permite

não só classificar os diferentes níveis de sofisticação, mas perceber que no desenvolvimento da biotecnologia coexistem as técnicas de nível intermediário (que cumprem um papel tanto de aprendizado como de base para investimentos de menor prazo de maturação) e as tecnologias de ponta (a maioria delas ainda em gestação, e cujos investimentos em P & D como rotinas inovadoras ou para geragem novas trajetórias são parte de estratégias de longo prazo).

Os programas atuais de biotecnologia nos diversos países contam com a participação predominante das técnicas de nível intermediário nos gastos em P & D e na aplicação produtiva. A engenharia genética, com algumas – e bem conhecidas – exceções, é desenvolvida segundo um horizonte mais distante para o investimento produtivo. Na atualidade, a combinação de interpretações históricas relacionadas à natureza das tecnologias permite compreender a situação presente do desenvolvimento da biotecnologia e dá condições necessárias para uma análise prospectiva de médio prazo sobre os impactos nas estruturas dos mercados.

Ao nosso ver, o estudo dos impactos das inovações biotecnológicas deve considerar os seguintes aspectos:

- a) a grande heterogeneidade de técnicas, produtos e áreas de aplicação;
- b) a forte “pervasividade” nos setores produtivos;
- c) a ausência de indicadores mais precisos que permitam análises prospectivas de longo prazo;
- d) a necessidade de observar e avaliar os impactos do ponto de vista setorial.

Para avançar mais um pouco é necessário introduzir uma elaboração dos tipos de impactos das inovações biotecnológicas sobre os mercados. Na atualidade, é do senso comum estabelecer uma relação direta entre tecnologia de ponta – no caso engenharia genética e engenharia de proteínas – e ruptura dos padrões de competição com alterações radicais nas estruturas de mercado. Este tipo de visão não leva em conta questões de ordem tecnológica e histórica e muito menos a capacidade dos oligopólios em alterar suas estratégias, endogeneizar ou de alguma forma financiar o esforço em P & D em biotecnologia **“out of home”**. A maioria das previsões resultantes desta linha de enfoque baseia-se em extrapolações futuristas de casos isolados de sucessos tecnológicos, que de fato ocorreram, mas que não se converteram em uma verdadeira onda de inovações.

A heterogeneidade e a **“pervasividade”** que caracterizam a biotec-

nologia permitem que ocorram alterações de base técnica e diversificação de produtos em trajetórias pré-existentes (determinadas por processos de busca e seleção em situações de continuidade) gerando impactos importantes em casos de esgotamento de trajetórias naturais, com conseqüente ruptura destas e da estabilidade das estruturas de mercado⁴. Na maioria dos casos, entretanto, as trajetórias biotecnológicas se inserem, reforçam ou complementam trajetórias pré-existentes, não sendo válido deduzir das características potencialmente inovadoras de uma certa biotecnologia (exemplo, a tecnologia do DNA recombinante), o seu impacto sobre os mercados.

Indo mais além, com base na análise do desenvolvimento recente da biotecnologia, colocaríamos que, no limite, as trajetórias biotecnológicas afrouxam os paradigmas tecnológicos que sustentam as mudanças de configuração de bens técnicos de certas estruturas de mercado, questionam o padrão de assimetrias existentes, ampliando o leque de diversidade tecnológica em produtos e processos, mas não sustentam a emergência de um novo paradigma e a produção de novas configurações para as estruturas de mercado existentes.

Por exemplo, as empresas oligopólicas do setor químico (que na atualidade se voltam para a química fina) e as empresas da indústria de sementes afeitas às inovações biotecnológicas, introjetam, em seus programas de P & D, projetos em biotecnologia que, com elevada flexibilidade, entram em linhas de atuação correntes das empresas (de pesquisa e principalmente de desenvolvimento, via **(learning by using)**). O exemplo típico é do uso de tecnologias de nível intermediário (cultura de tecidos) que servem tanto para conhecer as formas de ação dos princípios ativos dos herbicidas quanto para a obtenção de cultivares tolerantes a estes produtos. Essas pesquisas tornam a indústria de sementes um campo natural de diversificação das empresas do setor químico. Obviamente, esses processos de busca da indústria química permitem que suas empresas assumam uma postura ofensiva em relação ao setor sementeiro. As maiores empresas da indústria de sementes, todavia, tem ainda um certo "poder de fogo" para enfrentar esse tipo mais avançado e complexo de competição. Este se baseia no elevado grau de apropriabilidade e cumulatividade que certos tipos de pesquisa genética emprestam à produção de culturas, principalmente aos híbridos. O

⁴ Entendemos a idéia de situação de ruptura como correspondente à existência de períodos de descontinuidade entre trajetórias naturais. A idéia de "Weak Structure" na visão de Dosi (1984) permite situar tanto os casos em que a estabilidade de estrutura de mercado é afetada por rotinas inovadoras contidas nas estratégias das empresas, quanto pelo abalo causado pela emergência de novas trajetórias, dentro de um novo paradigma tecnológico.

poder defensivo das indústrias de semente é reforçado pela eficiência das **técnicas de nível intermediário** em acelerar a obtenção de diversidade genética em programas de melhoramento vegetal. Assim, não se trata de um “jogo de soma zero” as duas indústrias podem sair fortalecidas em seu poder de causar impactos tecnológicos intersetoriais, tal como pensado por Pavitt (1984).

Os estudos de caso que analisaremos nos próximos itens são tomados como “casos estilizados”, que revelam diferentes formas de relacionamento de biotecnologia com trajetórias tecnológicas pertencentes a outros paradigmas tecnológicos ou a velhos paradigmas de base biológica (colocados fundamentalmente na experimentação e na genética quantitativa).

Em primeiro lugar, consideramos dois tipos básicos de situações: o primeiro refere-se às situações de continuidade das trajetórias tecnológicas existentes. Enquadram-se nesse item processos de aprendizado realizados ao longo de rotinas de produção e investimento, processos de busca e seleção (juntando geração e difusão nas firmas e entre firmas), parte de rotinas inovadoras, e mesmo o “acoplamento” de trajetórias inovadoras de natureza distinta, via efeitos de sinergismo. Os três níveis de sofisticação biotecnológica podem ser cruzados com as diferentes situações de continuidade, no objetivo de enquadramento dos estudos de casos que apresentaremos.

O segundo remete às situações de ruptura, caracterizadas tanto pelo esgotamento de trajetórias inovadoras pré-existentes quanto pelo interesse estratégico de empresas e instituições em organizar-se em torno de novas trajetórias a um novo paradigma tecnológico. A idéia central do texto é que não se pode relacionar biunivocamente situações de ruptura e níveis de sofisticação tecnológica caracterizados como de ponta. Ao contrário, biotecnologias convencionais e de nível intermediário podem cruzar-se com situações de ruptura, pela difusão de inovações resultantes de trajetórias tecnológicas que em um ambiente de seleção desestruturam mercados apoiados em outros paradigmas tecnológicos. Passemos a discutir alguns exemplos ilustrativos da visão proposta.

As aplicações da cultura de tecidos para o melhoramento vegetal, para a micropropagação e para a obtenção de novos híbridos, são exemplos claros de cruzamento entre técnicas intermediárias e situações de continuidade afetadas por rotinas inovadoras. Senão, vejamos: a) o melhoramento clássico é bastante otimizado pela aplicação das técnicas de variação semiclinal, cultura de haplóides e micropropagação, estimulando os mercados de variedades e de mudas e sementes isentas de vírus; b) a possibilidade que se

coloca, pela cultura de embriões, da obtenção de novos híbridos interespecíficos, outrora impossíveis de serem desenvolvidos devido a determinadas barreiras biológicas – como o abortamento dos embriões – tende a fortalecer a posição dos oligopólios de sementes. Da mesma forma, a sofisticação das técnicas fermentativas, pela introdução da fermentação contínua, pelo uso de enzimas e células imobilizadas e pelo desenvolvimento de microorganismos geneticamente melhorados, resultam de rotinas inovadoras que vêm ao encontro do fortalecimento das estruturas de mercado dos oligopólios de enzimas, aminoácidos e ácidos orgânicos.

No caso do emprego da engenharia genética, verifica-se, hoje, que as inovações dão-se no âmbito de **situações de continuidade**. Isto não significa que esta seja a única direção possível, mas as trajetórias de ruptura dos mercados estão muito mais no campo das potencialidades. Os exemplos que aqui podem ser citados são: a) o caso da produção de vacina de febre aftosa por engenharia genética, que altera a base técnica dentro do conjunto das técnicas de base biológica, sem modificar os mercados; b) a obtenção de proteínas terapêuticas, como insulina, fator VIII, hormônios de crescimento, e interferon por técnicas de DNA recombinante, que vêm potencializar os mercados farmacêuticos.

As situações de ruptura, derivadas de certas trajetórias inovadoras em biotecnologia, por outro lado, apresentam poucos exemplos concretos, sendo que mesmo estes não estão totalmente definidos quanto às suas possibilidades de afetar as estruturas de mercado. Pode-se afirmar que as situações de ruptura interagem tanto com técnicas intermediárias quanto com as de ponta. Discutamos alguns exemplos: a) a fixação biológica do nitrogênio, por exemplo, pode, potencialmente, vir a afetar sensivelmente os mercados de fertilizantes nitrogenados, na medida em que se consiga evoluir para a produção de microorganismos fixadores de N_2 para a maioria das grandes culturas (feijão, arroz, trigo, milho, etc) e/ou para a incorporação, através da engenharia genética, de genes responsáveis pela fixação do nitrogênio atmosférico nas próprias plantas; b) a generalização do uso da **single cell protein** (SCP), inclusive para a alimentação humana, poderia colocar em xeque a própria produção de alimentos protéicos. Entretanto, o argumento de que tal situação vá ocorrer, se não pode ser totalmente descartado, tem de ser feito através de mediações, que vão desde considerações de ordem técnica – atualmente o uso humano é bastante restrito, devido a problemas nutricionais – até culturais (padrões alimentares, por exemplo). Há, hoje, certo impacto do uso de SCP na alimentação animal sobre os mercados de proteínas vegetais, especialmente no mercado de farelo de soja e girassol.

Arriscar que a biotecnologia, seja por técnicas intermediárias, seja pelas de ponta, irá resolver os problemas técnicos que hoje persistem na produção de SCP, parece razoável, mas daí inferir sobre a generalização de seu consumo não parece convincente; c) mesmo no caso do controle biológico de pragas, que, se generalizado, deverá impactar as estruturas de mercado, na medida em que propõem alterações radicais na base técnica, saindo da síntese química (pesticidas) para as técnicas de base biológica, não há indícios suficientes que permitam prognosticar com segurança a substituição radical dos pesticidas químicos pelos biológicos. Ao contrário, alguns exemplos hoje mostram que os investimentos em biotecnologia pelo setor químico de especialidade tem buscado otimizar os mercados tradicionais. Como vimos, isto ocorre no submercado de herbicidas, através da busca do desenvolvimento de variedades de milho e soja mais resistentes à aplicação daqueles agrotóxicos. O que, sim, pode ocorrer em termos de ruptura dos mercados, é a incorporação, através da engenharia genética, de genes que confirmam maior tolerância e resistências às plantas. Isto, todavia, não está ainda colocado como uma tendência mais ou menos evidente.

Esta breve discussão sobre impactos, embora longe de esgotar o assunto, permite visualizar que a biotecnologia, tal como se apresenta hoje, e mesmo considerando-se expectativas mais otimistas, aponta muito mais para trajetórias de continuidade que de ruptura de mercado. Ou seja, os impactos que estão se dando parecem dar maior razão aos argumentos de que as alterações de base técnica dos principais setores envolvidos ou se darão no sentido da revigoração das indústrias de base biológica, ou, quando muito, no de introduzir no setor químico ou mesmo outros com menor afinidade, processos biotecnológicos, que todavia não deverão, na maioria dos casos, representar a formação de **novos setores** produtivos.

Colocar as questões sobre este ponto de vista não significa que não consideremos a biotecnologia, como uma área do conhecimento que tem papel importante no processo de recuperação da crise mais geral da economia mundial e brasileira. Ao contrário, advogamos sua pertinência dentro da discussão sobre o papel das inovações na atualidade, especialmente pelas possibilidades que ela abre para a inserção do Brasil na nova divisão internacional do trabalho e para a solução de problemas específicos no campo da produção de alimentos e medicamentos, na questão do meio ambiente e na produção de diversos imunobiológicos de importância social, como já ressaltamos em artigos anteriores.

Passamos à análise de alguns casos por nós considerados relevantes.

CONSIDERAÇÕES SOBRE O CASO BRASILEIRO E APRESENTAÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO

Desenvolvimento da biotecnologia: Instituições públicas e mercados

Não há propriamente um modelo de desenvolvimento biotecnológico no Brasil. Por exemplo, não há nada, no Brasil, que lembre a articulação entre Universidades, novas empresas em biotecnologia e grandes corporações, característica do "modelo" norte-americano. Nem mesmo se tentarmos guardar as devidas proporções entre a dimensão da pesquisa nos EUA e no Brasil seria válida a comparação. Devido à ausência de uma política industrial articulada e minimamente estável, também não há paralelo possível entre Brasil e qualquer país desenvolvido, no que diz respeito à coordenação de estratégias públicas e privadas que envolvam o desenvolvimento biotecnológico, ou seja, de uma política industrial e de C & T que envolva biotecnologia. Há, pois, um ambiente seletivo frágil para o estímulo à geração e difusão de biotecnologias. Este é apenas um primeiro aspecto do problema⁵.

Os alicerces que dão certa sustentação à biotecnologia no Brasil encontram-se basicamente estruturados nas instituições públicas oriundas de desenvolvimentos tecnológicos apoiados em trajetórias iniciadas nos anos vinte. Poderíamos afirmar que o desenvolvimento de capacitação (skills) ao longo destas trajetórias esteve em grande parte ligado à pesquisa agrícola do setor público no estado de São Paulo (Albuquerque *et al.* 1986) e à pesquisa na área de saúde, limitada aos Institutos Butantã e Fiocruz (Marques *et al.* 1987). No caso de pesquisas agrícolas, esta base de capacitação só se amplia com a criação da EMBRAPA e a conseguinte descentralização espacial dos gastos (mas geridos centralizadamente, como mostram Castro & Naidin (1985). Esta se refere mais a uma adequação ao paradigma tecnológico relacionado à indústria de sementes e às trajetórias naturais relacionadas ao melhoramento genético convencional do que às formas institucionais adequadas à geração de inovações biotecnológicas.

Há um terceiro item marcante da fragilidade do Brasil em face da emergência das inovações biotecnológicas, a saber: o progressivo "esclero-

⁵ As dificuldades existentes para importação de equipamentos e insumos para a pesquisa biotecnológica evidenciam, ao mesmo tempo, o protecionismo espúrio à indústria aqui instalada, pela via das tarifas e a burocracia estatal inadequada aos novos segmentos de desenvolvimento tecnológico "science based".

samento" burocrático das instituições públicas de pesquisa e a inadequação destas para realizar e organizar pesquisas de caráter multidisciplinar e de interagir dinamicamente com o setor produtivo.

Há mais dois pontos a ressaltar: a forma predominante com que se deu a difusão de inovações para o setor industrial brasileiro foi a do investimento direto (FDI). Mais recentemente, e limitado a alguns setores, como evidencia o caso da indústria petroquímica, a difusão deu-se através de contratos de transferência tecnológica, via firmas internacionais de consultoria. Este padrão reduziu consideravelmente a importância dos investimentos em P & D feitos no país. Finalmente, é preciso enfatizar que não há um padrão claramente definido de difusão de inovações biotecnológicas e a forma de transferência tecnológica é quase sempre medida pela existência, no País, de "skills" voltados para rotinas inovadoras (onde se dá a resolução de problemas ao longo do processo produtivo de investimento e mesmo para realização de inovações que irão constituir trajetórias).

Em resumo, até o presente momento, os processos de transferência das biotecnologias são pouco delimitados. Há casos onde o vetor das inovações é um organismo vivo, um microorganismo de difícil patenteabilidade e possível de ser reproduzido. Isto implica um desestímulo ao desenvolvimento e comercialização de novas cepas. A transferência de tecnologias pela via da venda de equipamentos e através de serviços de consultoria é dificultada, ou pode simplesmente ter pouco significado no processo de difusão de inovações. Essas características dos processos de difusão de inovações biotecnológicas (que são muito parecidas nos ramos de química fina) dificultam o desenvolvimento interno de indústrias de base técnica biológica.

Este quadro negativo de múltiplas restrições ao potencial para geração e mesmo para difusão de inovações biotecnológicas no Brasil é atenuado em alguns pontos, que serão evidenciados nos estudos apresentados a seguir. Por exemplo, o ainda incipiente desenvolvimento da biotecnologia vegetal de ponta em relação a suas potencialidades e o papel não totalmente eliminável das condições edafoclimáticas nas diferentes regiões do País, que confere estímulo ao desenvolvimento interno de certos processos e produtos.

O que pretendemos com estas advertências é relativizar a análise dos casos, que serão apresentados a seguir, colocando-os no contexto de um ambiente inovador desfavorável, que foi o predominante no Brasil na presente década.

Serão analisados quatro casos a seguir:

- a) O caso relativo à biotecnologia vegetal. As trajetórias tecnológicas existentes se cruzam com o uso de tecnologias de nível intermediário em situações de continuidade. Todavia, há um enorme potencial de utilização de tecnologias de ponta reforçando as sementes (e outros tipos de matrizes) como vetores de inovação. As estratégias ofensivas de grandes empresas colocam em xeque as poucas experiências de empresas bem sucedidas no Brasil.
- b) O caso relativo à produção de imunobiológicos veterinários. Como no estudo anterior, é possível reconstituir a trajetória tecnológica da produção de vacina anti-aftosa, o principal produto imunobiológico veterinário e que tem no Brasil seu maior mercado. Logo, há uma íntima ligação entre a trajetória tecnológica de imunobiológicos veterinários e o desenvolvimento do mercado no Brasil. A importância da atuação institucional também foi fundamental. O estudo mostra como poderia se dar o cruzamento entre tecnologia de ponta e situações de continuidade.
- c) O caso da indústria farmacêutica na classe terapêutica dos antibióticos. Nesse caso, as evidências apontariam para a total subordinação do desenvolvimento biotecnológico às trajetórias endogeneizadas pelas grandes corporações. Nesse sentido, as tecnologias de ponta estariam ampliando mercados e estimulando o dinamismo do setor via lançamento de novos produtos. Seria como o típico caso de complementaridade entre trajetórias. Todavia, os avanços na imunologia, motivados por pesquisas ao combate ao câncer, e, mais recentemente, ao vírus da AIDS, têm apontado para situações de ruptura e para a intensificação do uso de tecnologia de ponta para obtenção de novos produtos. O Brasil está muito distante destas possíveis trajetórias, como o estudo resumidamente irá demonstrar.
- d) O estudo de caso da produção de inculantes mostra o papel das tecnologias convencionais e de nível intermediário em criar situações de ruptura com mercados amparados na trajetória de indústria química e petroquímica.

Desenvolvimento da biotecnologia vegetal no Brasil

Em linhas gerais, o desenvolvimento da biotecnologia vegetal é mais complexo, arriscado e incerto que o de outras áreas, e isto se aplica tam-

bém à situação do Brasil, apesar de nossa relativa tradição de pesquisas na área. Apresentemos algumas razões para justificar as dificuldades alentadas:

- a) a base científica que sustenta a biotecnologia vegetal é bastante frágil, principalmente quando os fenômenos se relacionam ao clima tropical;
- b) há um leque de oportunidades tecnológicas muito amplo. A formulação gen-proteína-produto pouco se aplica, tornando o uso da tecnologia do DNA recombinante bastante incerto quanto à previsão de seus resultados;
- c) os contextos de seleção de tecnologia são muito fluídos, pouco operativos, principalmente nas condições brasileiras.

Retomemos algumas questões referentes à indústria de sementes, veículos de difusão de grande parcela das inovações na área vegetal. O contexto global da indústria de sementes é de forte segmentação na conformação dos padrões competitivos. Em outras palavras, a indústria de semente comporta várias estruturas de mercado, sendo que as duas mais importantes são o oligopólio competitivo das sementes híbridas e o mercado competitivo (ou institucionalmente amparado) da produção de variedades. A apropriabilidade dos esforços de pesquisa é o principal fator responsável por esta segmentação. Ou seja, o padrão de difusão de inovações determina diferentes padrões competitivos na indústria⁶.

O estudo da empresa Sementes Agroceres S/A permite visualizar o elo de ligação entre a indústria de sementes e as inovações biotecnológicas no Brasil. Resumamos alguns pontos que explicitam nossa opinião.

Sementes Agroceres S/A (SASA), fundada em 1945, pode ser considerada como pioneira no sentido inovativo. Criada por professores da antiga Escola Superior de Viçosa e mantendo intensas relações com pesquisas feitas por Krug e outros no IAC/São Paulo, a empresa foi capaz de combinar conhecimentos tecnológicos na produção de sementes híbridas de milho (obtidos em cooperação com Universidades norte-americanas e com a Oficina de Estudos Especiais, do México) com recursos financeiros do Internacional Basic Corporation (IBEC), ligado à fundação Rockefeller. O fato particular é que o conhecimento tecnológico foi apropriado fundamentalmente pelo "staff" nacional (fundador) da empresa.

⁶ Vide Silveira (1985). A ênfase nos padrões competitivos visa evitar análises do tipo: diagnóstico, perspectivas, recomendações de pesquisa, busca de soluções tecnológicas, que caracterizam enfoques recentes sobre biotecnologia. A citação de texto específico é desnecessária, dada a abundância de trabalhos com este tipo de análise.

A trajetória de desenvolvimento de novos híbridos passou pela simplificação do sistema produtivo (pelo uso da macho esterilidade) e pela combinação das características de híbridos norte-americanos (de alto rendimento), às vigorosas linhagens mexicanas (SLP) e brasileiras.

Paralelamente ao desenvolvimento desta trajetória adaptada às condições do Brasil, deu-se o processo de diversificação da empresa. Este desenvolveu-se de modo clássico: criando ou penetrando em mercados de base tecnológica próxima, complementar ou que se referissem ao processo produtivo da agricultura. Com isto, as sementes híbridas tomaram-se **carro chefe** de um processo de diversificação que aliou a introdução de inovações geradas no exterior (híbridos de suínos, matrizes avícolas, sementes hortícolas) e uma sólida estrutura de distribuição de produtos, construída paralelamente ao desenvolvimento da agricultura do País, no últimos quarenta anos.

Estes dois pontos, a trajetória tecnológica de via híbrida e o processo de diversificação da empresa, colocaram-na na liderança de vários sub-mercados ligados às inovações biológicas. O principal mercado para o faturamento da empresa continuou sendo o de sementes híbridas (cerca de 70% em 1985).

Coloquemos a questão das inovações biotecnológicas. A trajetória inovativa desenvolvida no Brasil para sementes híbridas de milho a partir da década de setenta mostrou um certo esgotamento. Isto justamente no período em que se intensificou a concorrência neste mercado, apesar de suas taxas significativas de crescimento. A acomodação ao mercado pelos novos entrantes na década de setenta pôs a questão tecnológica em segundo plano. Todavia, o final dos anos setenta, início dos oitenta, marca um período desfavorável para o setor de insumos agrícolas em geral, aguçando o processo de rivalidade entre empresas e deixando claro que as fontes de variabilidade genética dos híbridos existentes e em lançamento estavam se esgotando.

Na comunidade científica, este esgotamento determinou a volta da atenção para fontes de variabilidade genética não convencionais. Na UNICAMP, por exemplo, William da Silva e Paulo Arruda passaram a difundir com maior intensidade resultados de pesquisa envolvendo o uso de **teosinte** como fonte de variabilidade genética, visando principalmente cultivares mais resistentes. Este tipo de processo de busca envolveu o uso de engenharia genética. Outra linha de pesquisas com milho envolve o uso de variação somaclonal, sendo conduzida pelo IG/ESALQ. Em resumo, abriu-se

um amplo leque de opções utilizando novos conceitos e ferramentas da biotecnologia vegetal combinados à genética clássica.

Em 1984, fundou-se no Brasil a primeira filial de uma nova empresa biotecnológica (NEB) americana, a BIOPLANTA. Sua instalação foi feita através de acordos entre a Empresa Souza Cruz e o Native Plant Institute (NPI), que tem em seu capital acionário a participação de várias grandes empresas do setor químico. Em 1985, a Agrocerec adquiriu a primeira NEB brasileira, a Biomatrix. As duas empresas de biotecnologia atuam praticamente na mesma área, diferindo no tipo de serviço ou produto que fornecem: produtos florestais, mudas de plantas frutíferas e hortícolas. Para a Agrocerec, mesmo considerando sua tradição na comercialização de sementes hortícolas (através de Horticeres), a compra da Biomatrix pode ser definida como parte do citado processo de diversificação da empresa. A transação envolveu US\$ 1,2 milhões.

A partir deste quadro podemos adicionar algumas observações:

- a) a biotecnologia vegetal, como fonte de inovações primárias, situa-se fora do alcance dos orçamentos de empresas líderes de sementes (que têm, na sua maioria, faturamento entre 30 e 100 milhões de dólares/ano), tanto no Brasil como nos EUA, França e Alemanha Ocidental. A maioria das tecnologias previsíveis apresentam elevado grau de incerteza quanto a seus resultados e nem sempre abrem oportunidades no campo das espécies vegetais mais importantes;
- b) por outro lado, certas técnicas de multiplicação de plantas e de seleção, via cultura de tecidos, prestam-se à criação de novos mercados e à ampliação de mercados tradicionais e aceleram o deslocamento de produtos marginais (como os que existem no mercado de sementes hortícolas, geralmente ocupando pequenos espaços regionais). Estes processos não afetarão os mercados já existentes, mas têm impactos imediatos sobre alguns segmentos, como o processo de substituição de importação de batata-semente.

A questão relevante desloca-se para o campo das avaliações de perspectivas futuras. Há duas avaliações opostas:

- a) o motor do processo de investimento em biotecnologia vegetal estaria no "stick" acenado pela política ofensiva das indústrias químicas, para quem a indústria de sementes é um campo (não necessário, todavia) de diversificação;
- b) o motor do processo estaria no "carrot", representado pelas múltiplas oportunidades de mercado a serem criadas pela flexibilidade resultante

do domínio de tecnologias relacionadas à cultura de tecidos, inoculantes e controle biológico.

Aceitando-se como preponderante a primeira avaliação, o papel do setor público na investigação biotecnológica de fronteira seria importante. A ele caberia – além de financiar a formação de recursos humanos – identificar áreas de pesquisa básica que serviriam de futura ponte para avançar em biotecnologia vegetal. A dificuldade estaria em identificar gargalos científicos sem que um volume considerável de pesquisas fosse conduzido em biotecnologia vegetal de ponta⁷. É óbvio que este tipo de opção envolve questões orçamentárias, não apenas porque as pesquisas sejam custosas (por vezes, os itens mais caros referem-se à formação de pesquisadores), mas porque exigem tempo, regularidade, e envolvem enorme incerteza quanto aos seus resultados.

A opção por fortalecer a base científica do país paralelamente às tentativas de desenvolvimento de biotecnologia de ponta estaria apoiada não só no risco da perda de competitividade de empresas nacionais líderes do mercado, mas no pouco conhecimento, no âmbito internacional, de itens fundamentais, como: fisiologia vegetal, bioquímica vegetal, e mesmo biologia molecular de plantas.

Esta opção, todavia, envolve também questões relacionadas à apropriação dos resultados de pesquisa. A realidade dos países desenvolvidos é de privatização da própria ciência, que põe em risco a própria atividade científica. No caso do Brasil, a proteção ao “stick” coloca a necessidade de definir critérios quanto à apropriabilidade das inovações e à importância do setor público na regulação da atividade empresarial.

Apenas para ilustrar o problema de definir regras quanto à apropriabilidade das inovações, poderíamos citar que o lançamento de híbridos de arroz ou de trigo podem resultar em novo processo de concentração da indústria de sementes.

Aceitando-se a visão do “carrot”, não existiriam grandes problemas em abrir o leque de pesquisas que viabilizassem empresas que aplicassem tecnologias transformáveis imediatamente em inovações, via novos produtos. Também em incentivar técnicas ligadas à biotecnologia que acelerassem processos tradicionais de melhoramento. O grau de incerteza quanto ao potencial da biotecnologia colocaria o perigo do “stick” em segundo plano, ca-

⁷ No Brasil, o exemplo mais conhecido é o da tentativa do CENARGEN/ EMBRAPA, de produzir sementes de feijão com elevado teor de metionina.

bendo ao setor público financiar meios de seguir o "carrot", as oportunidades de mercado.

Desenvolvimento de imunobiológicos de uso veterinário: a vacina anti-aftosa

Neste subitem iremos tratar de um caso onde as inovações se inserem no contexto de uma trajetória natural biotecnológica. Analisaremos o caso onde o desenvolvimento de uma trajetória tecnológica com base em biotecnologia de nível convencional é impactado por biotecnologias de nível intermediário e, fundamentalmente, por biotecnologias de ponta.

Antes, faremos uma breve análise do ambiente inovativo no Brasil, que é o mercado-chave para o produto analisado.

O mercado brasileiro de produtores veterinários é ocupado em cerca de 20% por insumos biológicos. Neste ponto, sua configuração difere radicalmente da dos EUA e Japão (outros dois países mais importantes no mercado), aproximando-se mais da França.

Duas são as razões: a) o elevado rebanho bovino nacional, em grande parte criado em regiões endêmicas de febre aftosa, o que torna a doença de difícil erradicação. Também contribuem para a importância das vacinas o fato quase único, em um país produtor de carne, da existência de raiva bovina (em surtos) e da prevalência do carbúnculo sintomático e afins (botulismo, gangrena gasosa), b) o crescimento vertiginoso da criação industrial avícola, que privilegia programas de vacinação em face da incidência de doenças como: marek, new castle, gumbora, bronquite infecciosa.

Considerando o peso da produção da vacina anti-aftosa, pode-se afirmar que mudanças no padrão de exigência na qualidade do produto (testes de eficiência) foram fundamentais para a estruturação da atual indústria de vacinas. Sem nos determos em detalhes, a atual estrutura de capital produtivo das empresas produtoras de vacinas veterinárias foi determinada pela obrigatoriedade pelo Ministério da Agricultura, em 1975, de que a produção do vírus aftoso fosse feita através do cultivo de células (BHK-21 na maioria dos casos ou IFA-3, no caso da Rhodia-Merrieux) e não mais por cultivo lapinizado ou Frankel, ou seja, passando da extração de órgãos de organismos vivos para o cultivo de células em fermentação.

O investimento exigido para adaptar a produção às exigências do cultivo celular foi uma barreira à manutenção, no mercado, de empresas como Hertape e principalmente a tradicional empresa Leivas Leite.

O Brasil conta, hoje, uma das maiores capacidades produtivas de vacinas animais do mundo, sendo que a maioria das instalações não tem a idade de oito anos.

Paralelamente à mudança tecnológica determinada pelas exigências do Ministério da Agricultura, desenvolveu-se linha de aprendizado determinada por dois fatores: a) por um lado, estimulada pelo aproveitamento de economias associadas ao tamanho, que diluem custos fixos relacionados à infra-estrutura (fonte de vapor, filtração de ar, fonte de água) e ao controle de qualidade. Ou seja, dadas as cotas de produção entre as empresas (determinadas institucionalmente), tratou-se de conseguir processos de crescimento celular em tanques de maior volume⁸; b) por outro lado, determinada pela melhoria dos métodos de controle de qualidade e pelas novas exigências institucionais. Chegou-se ao uso – sofisticado para as empresas em questão – de métodos de cálculo de massa antigênica (através de ultracentrífugas, equipamento excessivamente caro, mas disponível em várias Universidades, como USP, UNICAMP, UNEPS, no IAC de Campinas, no Centro de Biotecnologia do Rio Grande do Sul e até em empresas privadas, como a EMBRABIO).

As fontes de difusão, tanto das tecnologias necessárias às mudanças tecnológicas quanto às linhas de aprendizado, foram, fundamentalmente, a função **Welcome** e o Centro Panamericano de Febre Aftosa (OPS/OMS).

Tratou-se, no caso da **Welcome**, de um processo de aprendizado não apropriável, "para fora". Já o objetivo primordial do Centro Panamericano sempre foi o de difundir novas tecnologias e facilitar, via elaboração de projetos e treinamento de mão-de-obra, a instalação de novas unidades produtoras de vacinas.

A ausência de apropriabilidade dos resultados de pesquisas feitas pela **Welcome** se deveu a dois fatores: a) dificuldade de impor o patenteamento de células para cultivo do vírus; b) impossibilidade de controlar o trânsito de técnicos de alto nível.

As mudanças realizadas após 1975 significaram a viabilização do aperfeiçoamento das exigências de controle de qualidade das vacinas. Todavia, outro tipo de inovação foi introduzida nos anos oitenta, seguindo a trajetória aberta pelo cultivo celular do vírus: a introdução de vacina em ad-

⁸ O volume de produção de vacinas em tanques de suspensão é, no máximo, de 5.000 litros. Trata-se de um volume irrisório quando comparado ao utilizado em fermentações para produção de antibióticos.

juvante oleoso, mais eficiente que o anterior, pois reduz o número de imunizações/ano de 3 para 1. Este tipo de inovação entrou inicialmente em choque com as linhas de aprendizado das empresas que buscaram, utilizando o hidróxido de alumínio como meio de concentração no antígeno, ampliar a capacidade produtiva.

O lançamento desta inovação, desenvolvida pelo Centro Panamericano, significou a possibilidade de redução do volume necessário de vacina a ser produzido. Isto trouxe problemas relacionados à definição da relação de preços relativos entre os produtos e dos **mark-ups**.

O conhecimento da tecnologia do DNA recombinante estimulou, no início dos anos 80, pesquisas com vacinas de subunidades (desprovidas de material genético). Sendo o antígeno proteína viral (ou melhor, um sítio peptídico do capsídeo viral), os enfoques reducionistas da tecnologia do DNA recombinante se aplicariam perfeitamente à sua produção. Isto se daria através de processos de multiplicação celular (bacterianas, por exemplo, de *E. Colli*), mais simples, baratos e principalmente mais seguros dos que os relacionados à tecnologia convencional. Tratava-se de produzir uma vacina sem perigo para países como EUA (onde a febre aftosa foi erradicada com elevados custos), que se mantêm atualmente em sistema de vigilância.

O sucesso desta empreitada representaria:

- a) forte impacto sobre a estrutura produtiva já instalada das indústrias de vacinas veterinárias. As indústrias brasileiras seriam fortemente atingidas;
- b) a abertura de um pequeno mercado de vacinas em países onde a doença já estivesse erradicada (Norte-América, Reino Unido e alguns países da Europa Ocidental, principalmente os Nórdicos);
- c) maior chance de erradicação da doença, através da efetiva imunização dos animais, sem perigo de recidivas causadas por vacinas mal inativadas.

Os protagonistas das pesquisas foram aproximadamente os mesmos conhecedores do vírus aftoso, como se o aprendizado produtivo fosse fundamental para geração deste tipo de inovação (idéias de cumulatividade): **Fundação Welcome/Pirbright** na Inglaterra; **Institute Merieux/Instituto Pasteur-Inra** na França e, como novo protagonista em cena (não existem fábricas de vacinas antiaftosa nos EUA), **Genentech/Plum Island-USDA**⁹. Tam-

⁹ Hoje financiada pela Bayer. Sintomaticamente, a Bayer adquiriu a empresa nacional Noli S/A, sediada no Rio Grande do Sul, que em 1983 co-financiou o Centro de Biotecnologia do Rio Grande do Sul.

bém entrou nessa linha de pesquisa a empresa Biogen, em associação com empresas suíças e alemãs, além de alguns Institutos de pesquisa isolados, como os de Israel.

No início dos anos 80, abriu-se uma corrida entre posturas defensivas (empresas líderes de âmbito mundial) e ofensivas (Genentech) para o domínio de uma tecnologia que, sendo, em grande parte, fundada em processos anteriores, viria a ter impactos significativos no mercado.

No Brasil, o Centro de Biotecnologia do Rio Grande do Sul, pioneiramente iniciou suas pesquisas em 1982. Coerentemente com o caráter multidisciplinar multitemático da tecnologia do DNA recombinante, o grupo se formou, basicamente, a partir de experiências fora do campo de saúde animal: bioquímicos, biológicos moleculares, geneticistas. Os resultados obtidos pelo grupo confirmaram as dificuldades em obter antígenos efetivos como determinantes imunológicos: menos pela existência de vários subtipos do vírus aftoso, do que pela impossibilidade técnica, por parte do conhecimento científico presente, de reproduzir a estrutura peptídica necessária para uma resposta satisfatória.

Esta situação arrefeceu as expectativas otimistas que haviam levado vários grupos à tentativa de geração e domínio (difusão) da tecnologia do DNA recombinante¹⁰.

Este insucesso fez com que em todo o mundo fossem revistos os programas de pesquisa com vacinas recombinantes. O pequeno mercado para a maioria das vacinas torna-se também um fator de desestímulo às pesquisas. Todavia, importantes "feed-backs" foram originados das experiências relatadas. Por exemplo, continuam as pesquisas que dão ênfase no estudo da estrutura protéica do capsídeo viral. Como as realizadas pelo grupo de Lerner, para **Scipps Clinicals**, na Califórnia, Genentech ou pela **Fundação Welcome**.

Que lições podemos tirar desta vivência biotecnológica?

A proximidade da tecnologia do DNA recombinante com o objetivo de estudo neste caso é maior do que na biotecnologia vegetal. A forte assimetria na estruturação do mercado se deve, no caso do Brasil (e mesmo internacional) à importância que assumiu o controle da febre aftosa para a produção de bovinos. As motivações científicas e tecnológicas, obviamente, responderam a este impulso, não apenas por "demand pull", mas principal-

¹⁰ A empresa EMBRABIO, por exemplo, propôs-se, no início, a assessorar produtores de vacinas (e possíveis entrantes) na tradução das patentes dos veículos de expressão criados pela Genentech para a produção da vacina.

mente pelas características do padrão de difusão de inovações e pelo processo competitivo (seria criada, via patentes, a apropriabilidade da inovação, no caso, a vacina recombinante).

Outra lição importante é que o processo poderia indicar a necessidade das empresas em adiar a introdução de inovações. Já no caso da introdução da vacina com adjuvante oleoso é nítido um certo desinteresse em apressar o retorno das pesquisas para definitiva substituição da vacina de adjuvante hidróxido de alumínio.

Todavia, a lição mais difícil refere-se a que fazer quando certas tecnologias de extrema sofisticação indicam a necessidade de maiores conhecimentos científicos. Como serão financiadas estas pesquisas, e a quem estão disponíveis. No caso do Brasil, seria possível acompanhar o processo? Caso não (o que parece ser a evidência atual), será possível iniciar o processo novamente?

Biotecnologia e a classe terapêutica de antibióticos no Brasil

Neste caso, o sucesso da difusão de inovações biotecnológicas dependem, fundamentalmente, de sua inserção no processo competitivo de estruturas de mercado oligopolizadas e determinado por estratégias internacionais. Trata-se do caso relacionado ao segmento da indústria farmacêutica de produtos da classe terapêutica dos antibióticos¹¹. Este é o principal segmento da indústria farmacêutica e de produtos veterinários.

As origens da trajetória tecnológica deste segmento estão ligadas às inovações biológicas. De certa forma, parte fundamental do processo é dependente do avanço das técnicas de obtenção de novas cepas e de aperfeiçoamento dos processos fermentativos a elas correspondentes. As etapas produtivas dependem das decisões estratégicas em nível internacional por parte das empresas líderes e do estágio de desenvolvimento dos países.

Podemos introduzir a questão do Brasil. O lançamento de inovações no País depende da importação de fármacos, no caso, do princípio ativo dos antibióticos. As experiências brasileiras (Cibran, Codetec), que poderiam ser fortalecidas por políticas institucionais (de compra, por exemplo), embora internamente importantes, limitam-se ao domínio de etapas de síntese ou a processos fermentativos de grupos com tecnologia mais difundida de primei-

¹¹ Utilizaremos, fundamentalmente, o texto de Gadelha (1986).

ra geração, por exemplo. Ou seja, não há, no Brasil, condições de aproveitamento de complementaridade existente entre as trajetórias químicas e biológicas. Isto se agrava pela total distância dos centros universitários (e isto até recentemente não era uma exclusividade do Brasil) dos processos de seleção e melhoramento de cepas e do desenvolvimento de fermentações correspondentes.

Gadelha (1986) enfatiza alguns pontos básicos:

- a) O segmento tradicional de antibióticos não sofrerá profundamente o impacto do uso da tecnologia do DNA recombinante. A técnica de fusão de protoplastos, todavia, poderia revigorar cepas, reduzindo custos de processos e facilitando a realização de etapas de síntese. Neste ponto, é possível uma analogia com a biotecnologia vegetal, no sentido de que as técnicas menos sofisticadas do ponto de vista da base científica, que não transformam profundamente o processo produtivo, podem auxiliar as linhas já existentes de pesquisa e produção.
- b) O desenvolvimento biotecnológico, conquanto venha a afetar a reestruturação do setor farmacêutico (que já está ocorrendo intensamente pela via de acordos múltiplos e às vezes pelo "take over"), pela maior lucratividade das firmas que lançarem produtos novos (geralmente não competitivos com os antibióticos), não alterará fundamentalmente o conjunto de empresas líderes (ainda que se espere que as empresas japonesas cresçam em sua participação no mercado).
- c) No caso do Brasil, é importante a introdução crescente de processos produtivos que permitirão mais diretamente o conhecimento dos problemas, principalmente nas etapas fermentativas. Ou seja, o estímulo à produção interna de princípios ativos é importante para a meta de se obter um nível satisfatório de capacitação tecnológica.

Para Gadelha (1986), a evolução bastante lenta da indústria nacional de fármacos se deve à timidez de algumas decisões de política industrial. O exemplo claro é o da não-efetivação do GIFAR – Grupo interministerial da Indústria Farmacêutica. Gadelha (1986) mostra, também, que, no caso do Brasil, há muito que ser feito no campo da padronização da denominação de produtos, da especificação técnica de normas e da padronização do controle de qualidade.

Há outro ponto: os avanços biotecnológicos neste segmento da indústria farmacêutica não alterarão fundamentalmente os aperfeiçoamentos introduzidos na Tecnologia Industrial Básica. No campo de novos produtos terapêuticos, produzidos por engenharia genética, como interferon e interleu-

cina é que serão concentradas questões relacionadas à padronização e ao controle de qualidade.

Apesar de não afetar diretamente as trajetórias inovadoras que sustentam no mercado de produtos da classe terapêutica dos antibióticos, o desenvolvimento de novos produtos, fundados em biotecnologia de ponta, podem criar uma gama de produtos alternativos, imunobiológicos resultantes dos avanços científicos recentes nos campos da virologia, imunologia, enzimologia e do avanço em complexas fermentações. No caso do Brasil, o esforço institucional é fundamental para o amparo a novas indústrias que possam surgir nesse campo.

O exemplo cubano, de clara definição de linhas de pesquisa para desenvolvimento de biotecnologias de ponta, centradas na obtenção de certos produtos, contrasta fortemente com a dispersão de recursos que marca os esforços em biotecnologia no Brasil desde o III PBDCT.

A produção de inoculantes e a indústria de fertilizantes

O caso a ser analisado neste subitem refere-se a inovações que apresentam a possibilidade de ruptura radical com um padrão de difusão de inovações consolidado através de atuação de oligopólios do complexo químico. A saber, a introdução de inovações referentes à produção de inoculantes agrícolas.

Partamos diretamente ao caso brasileiro. A indústria de fertilizantes no Brasil, na década de setenta e início dos oitenta, progressivamente nacionalizou-se, tendo a Petrobrás como principal protagonista (Reydon 1987). O processo de substituição de importações está quase completado. Trata-se de um ramo da indústria química com poucas possibilidades de diferenciação do produto final e com um ritmo lento de introdução de inovações a partir da base técnica existente.

O uso de inoculantes agrícolas na agricultura se originou da firme decisão de pesquisadores pioneiros (como Jardim Freire e Joana Döbereiner) de não permitir o uso de fertilizantes nitrogenados no processo de melhora-mento e adaptação de cultivares de soja no País. Estes deveriam ser obtidos segundo sua capacidade de simbiose com bactérias do gênero **Rhizobium**. O mesmo não foi conseguido para o feijão, inclusive porque as dificuldades (o ponto de partida) eram maiores, e o volume de financiamento às pesquisas, muito menor.

Conseguiu-se, no Brasil, impor uma das poucas trajetórias inovadoras de origem biológica competitiva com a indústria à montante da agricultura. Com o crescimento da cultura de soja na década de setenta, principalmente nos estados do sul do País, difundiu-se o uso de inoculantes, dando base para o surgimento de pequenas empresas inovadoras, apoiadas pelas Secretarias de Agricultura dos Estados, por instituições como Tecpar/PR e pelo MIRCEN, organismo ligado à FAO para coleta, padronização e fornecimento de cepas de **Rhizobium** recomendadas.

No período recente, o segmento passa por problemas relativos a sua maturidade, ainda que problemas tecnológicos se mantenham. A expansão das oito empresas existentes (das quais três ou quatro são realmente promissoras) depende da expansão da cultura da soja. Como esta ocorre nos cerrados, trata-se de procurar linhagens de **Rhizobium** com boa adaptação a estas condições desfavoráveis. Enquanto isto não ocorre (ou se dá com problemas, como o que ocorreu com cepas difundidas pela EMBRAPA), as empresas têm seu mercado garantido pelo maior número de doses exigidas à inoculação e pela maior mortalidade dos microorganismos.

Existem, todavia, gargalos ao processo produtivo. Há intensa discussão no meio técnico sobre a maior ou menor importância do meio de cultura (fonte energética) no processo de multiplicação celular. É no processo de esterilização da turfa que ocorrem as maiores dúvidas. O uso de radiação gama só é eficiente em níveis excessivamente custosos. O processo de irradiação em níveis pouco intensos resulta na multiplicação de actinomicetos, inimigos do **Rhizobium**. Além disto, o próprio uso de turfa como veículo motiva pesquisas para a busca de outros meios, como óleo mineral.

Estes são problemas de pesquisa induzidos pela atividade rotineira da indústria, que, evidentemente, não tem capacidade de pesquisa "in house". Neste caso se destacam o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo/IPT e a Tecpar/PR.

Na fronteira tecnológica, as pesquisas com **Rhizobium** que envolvem o conhecimento dos genes **niffs** (responsáveis pela fixação do nitrogênio atmosférico) abrem espaços para o uso de técnicas recombinantes, no sentido bactéria/bactéria e mesmo bactéria/vegetal. Existem pesquisas conduzidas por NEBs norte-americanas e mesmo pesquisas "in house" feitas por grandes corporações. No Brasil, a presença da Bioplanta, ligada à NPI, indica a possibilidade de introdução de inovações geradas externamente. Não se trata de uma linha preferencial de pesquisas das empresas químicas, que

dirigem seus conhecimentos de bioquímica vegetal para a geração de cultivares tolerantes a herbicidas. Certamente, formas de apropriabilidade das pesquisas serão buscadas. Todavia, pesquisas públicas eficientes no campo da genética tradicional de microorganismos são capazes de garantir ao País certa eficiência na relação com outros ramos inovadores situados em países desenvolvidos. Existem poucos grupos, no Brasil, capacitados a trabalhar com engenharia genética em **Rhizobium**, sendo um deles localizado na Universidade Federal do Paraná.

Diferentemente no caso das leguminosas, a expansão de inoculantes para cereais se dá simultaneamente nos dois planos: No campo da pesquisa tradicional e no levantamento genético dos sistemas fixadores. Talvez a experiência acumulada com a produção de inoculantes à base de **Rhizobium** auxilie a redução dos prazos entre obtenção de cepas e lançamento de produtos.

Quanto ao controle de qualidade hoje existente, segundo várias opiniões, não se trata de um problema sério, sendo de solução bastante simples, como a contagem do número de células existentes na amostra. O lançamento de produtos recombinantes poderá criar polêmicas sobre as regras de controle para sua liberação no ambiente. Já no campo do controle biológico, a falta de regras de controle de qualidade é tida como um problema extremamente sério, uma vez que não se têm soluções claras para problemas com certos inseticidas. O exemplo mais conhecido se refere às marcas de produtos à base de **Metarrhizium anisopliae**.

É difícil concluir sobre prazos para o lançamento de novos tipos de inoculantes e para a introdução de genes "niffs" em plantas. Todavia, uma das características do mercado de inoculantes é que quanto mais eficiente for o produto final, maior a tendência de redução do mercado. Trata-se, pois, de uma linha de pesquisa que deve ser fundamentalmente estimulada pelo setor público. A atual conjuntura de dificuldades financeiras do País é estimulante a estas pesquisas. Todavia, este tipo de estímulo raramente é suficiente para bons resultados.

OBSERVAÇÕES FINAIS

O presente texto procurou enquadrar a questão do desenvolvimento da biotecnologia no Brasil, dentro da perspectiva dos diferentes padrões de difusão de inovações que ocorrem em indústrias relacionadas à manipulação do conhecimento de base biológica.

Adicionaremos alguns elementos que se relacionam à formulação de políticas em biotecnologia e que mantêm coerência com os estudos apresentados:

- a) Não são desejáveis formulações de política que tratem a biotecnologia como uma indústria e que, com isto, se apoiem unicamente no estímulo ao desenvolvimento de pequenas empresas inovadoras. É preciso avaliar como se dará a inserção das biotecnologias em certos padrões concorrenciais.
- b) Existem áreas em que o desenvolvimento biotecnológico é embionário e o grau de incerteza em face das trajetórias inovadoras tecnológicas pré-existentes é elevado. Desta forma, a pulverização das políticas determinadas pelo amplo espectro formado pelas oportunidades inovativas das técnicas de base biológica pode resultar no desperdício de recursos ou em uma política ineficiente de estímulo a empresas nacionais. A visão "científica" do problema, desligada do desenvolvimento industrial, é a principal causa da má alocação de esforços em pesquisa biotecnológica; o aproveitamento adequado de acordos de participação internacional – por exemplo, via joint-ventures, cujas oportunidades estão se reduzindo rapidamente – depende da seleção adequada de prioridades.
- c) Já há, no Brasil, casos bem definidos que requerem a visão de política em biotecnologia como parte do contexto de política industrial. Há sempre que considerar o risco de formulações de política que coloquem o empenho público no desenvolvimento de empreendimentos privados bem sucedidos no passado (a partir da adequada manipulação de oportunidades abertas pelas trajetórias tecnológicas já existentes). Trata-se de estabelecer opções estratégicas. Há casos onde conjunturas econômicas favoráveis permitem estimular a pesquisa em biotecnologia, sem que o setor tenha se envolvido previamente com trajetórias tecnológicas. Por exemplo, é o caso da indústria de papel e celulose no Brasil, a partir da segunda metade dos anos 80.
- d) Devem ser consideradas as variadas formas de estímulo à formação de recursos humanos e à pesquisa básica. Entretanto, sem o desenvolvimento industrial, a eficiência dos processos seletivos que visem aproximar a base científica da aplicação tecnológica será muito pequena.
- e) Há um vasto campo para o desenvolvimento de biotecnologias cuja difusão ficará – dentro de um horizonte longo de tempo – a carga de órgãos ou empresas públicas. Nas condições do Brasil, é desejável o estímulo ao desenvolvimento e difusão de certas biotecnologias de nível interme-

diário, por exemplo, aplicadas ao controle biológico de pragas, à fabricação de imunobiológicos de uso humano e animal (vacinas e meios de diagnóstico), ao desenvolvimento de variedades de culturas alimentares pelo uso de técnicas de culturas de tecidos, e pela formação e manutenção de bancos de germoplasma, também mediante o uso da cultura de tecidos e da própria biologia molecular para o mapeamento genético.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, R. H.; ORTEGA, A. C.; REYDON, B.P. O Setor público de pesquisa agrícola no Estado de São Paulo. Parte I. **Cad. Dif. Tecn.** Brasília, 3(1):79-132, jan./abr. 1986.
- CASTRO, A. C. & NAIDIN, L. **Prioridades para uma agenda de pesquisas econômicas em políticas de C & T para a agricultura.** FINEP, 1985.
- DOSI, F. **Technical change and industrial transformation.** London, MacMillan Press, 1984. 309p.
- GADELHA, C. A. G. **Os condicionantes da produção de biofármacos da classe terapêutica dos antibióticos. As possibilidades de introdução da biotecnologia no Brasil.** Campinas, 1986. 106p. Relatório Final do Convênio IE/UNICAMP-MIC/STI.
- PAVITT, K. **“Chips” and “Trajectories”** How will the semiconductor influence x The sources and directions of technical changes? Brighton: U.K., S.P.R.U. 1984. 26p.
- MARQUES, M. B. *et al.* **Biotecnologia em saúde no Brasil.** Limitações e perspectivas. s. l. Ministério da Saúde, FIOCRUZ, 1987. 92p. (Série Política de Saúde, 3).
- REYDON, B. P. **A indústria de fertilizantes no Brasil:** aspectos de sua dinâmica. Campinas, UNICAMP, 1987. 52p. Relatório Convênio IE/IPEA.
- SALLES FILHO, S. *et al.* **Biotecnologia e produção de alimentos.** Núcleo de Política Científica e Tecnologia. Campinas, UNICAMP, 1986.
- SILVEIRA, J. M. F. J. da. **Progresso técnico e oligopólio:** as especificidades da indústria de sementes no Brasil. Campinas, IE/UNICAMP, 1985. 159p. Dissertação de Mestrado.
- SILVEIRA, J. M. F. J. da. O desenvolvimento das biotecnologias e a avaliação de seus impactos econômicos. **Cad. Dif. Tecn.**, 3(3):407-18, set./dez. 1986a.
- SILVEIRA, J. M. F. J. da. **A produção de insumos veterinários de origem biológica e o desenvolvimento da biotecnologia no Brasil.** Campinas, UNICAMP, 1986b. Relatório Fianl do Convênio IE/UNICAMP-MIC/STI.