

Inovação e meio ambiente na pesquisa agrícola

Adriana Bin¹

Sônia Regina Paulino²

Este artigo focaliza o processo de inovação, discutindo-o para o caso da agricultura. A abordagem conceitual se baseia na interpretação do potencial indutor da variável ambiental na evolução de trajetórias tecnológicas e organizacionais. É nesse sentido que, na primeira parte do trabalho, são apontados os determinantes para a geração e adoção de inovações, assim como os desafios que perpassam a internalização da variável ambiental no processo de inovação. As transformações institucionais mostram-se essenciais para a discussão proposta, como forma de sustentação para a incorporação desse novo fator de referência – meio ambiente – nas atividades inovativas. Na segunda parte do artigo aplica-se essa discussão à agricultura, delineando a transformação das bases científicas e tecnológicas para a consolidação de uma agricultura cujos impactos sobre o meio ambiente sejam minimizados. Esse caminho de transformação, interpretado como pesquisa para agricultura sustentável, não apresenta fronteiras e desdobramentos nítidos. No entanto, se insinua por meio da agroecologia e de uma evolução do modelo agrícola produtivista, com o desenvolvimento de tecnologias mais amenas do ponto de vista ambiental, assim como de mudanças verificadas no contexto institucional da pesquisa agrícola.

Inovação e meio ambiente

De acordo com a definição conceitual do Manual de Oslo (Oslo Manual, 1995), a inovação tecnológica é a introdução de produtos ou processos tecnologicamente novos ou de melhorias significativas em produtos e processos existentes no mercado. O processo de inovação abarca todos os passos científicos, tecnológicos, organizacionais, financeiros e comerciais que, efetiva ou potencialmente, levam à introdução de produtos ou processos tecnologicamente novos ou substancialmente melhorados.

Nesse sentido, entende-se que a capacidade de gerar, introduzir e difundir inovações (que tem se tornado cada vez mais um dos determinantes para a competitividade) depende não apenas das características e especificidades da organização que se considera (sua dinâmica setorial e disciplinar, seu mandato, seus mecanismos de gestão da inovação, sua inserção nos sistemas de ciência, tecnologia e inovação, sua história etc.) como também dos elementos que compõem o contexto institucional no qual essas organizações estão imersas (nível de qualificação de recursos humanos, leis e normas que estimulam a inovação,

¹ Doutoranda do Departamento de Política Científica e Tecnológica (DPCT/IG/Unicamp) / Pesquisadora associada do Grupo de Estudos sobre Organização da Pesquisa e da Inovação.

² Pesquisadora associada do Grupo de Estudos sobre Organização da Pesquisa e da Inovação / Professora Colaboradora do Departamento de Política Científica e Tecnológica (DPCT/IG/Unicamp) / Professora Colaboradora do Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente da Uniara.

conhecimento científico e tecnológico acumulado e disponível, atuação do conjunto de organizações, demandas de mercado etc.).

Ao configurar os determinantes para a geração, introdução e difusão de inovações, o contexto institucional acaba por delimitar também o cenário de problemas que se insinuam e que motivam a geração de inovações, assim como o modelo de solução desses problemas selecionados. Esse modelo, ou ainda, padrão de solução de problemas técnico-econômicos selecionados, é denominado por Dosi (1984) de paradigma tecnológico³. A direção do avanço tecnológico dentro de cada paradigma ou o padrão de referência para as atividades voltadas à busca de solução de problemas é definida a partir do conceito de trajetória tecnológica. Ressalta-se, no entanto, que apesar de terem suas atividades inovativas influenciadas pelas trajetórias tecnológicas vigentes e demais elementos do contexto institucional, as organizações também são capazes (em diferentes graus) de alterar essas trajetórias, o que configura um processo de evolução conjunta entre trajetórias das organizações, trajetórias tecnológicas e contexto institucional.

OPORTUNIDADES E RESTRIÇÕES AMBIENTAIS NO PROCESSO DE INOVAÇÃO

A partir da década de 80, e com maior ênfase, a partir da década de 90, amplia-se, em âmbito mundial, o debate acerca das relações entre meio ambiente e o desenvolvimento científico e tecnológico. Essa ampliação vem em decorrência do alerta sobre o estado de degradação ambiental do planeta e de suas conseqüências negativas para a sobrevivência da população, assim como da crescente percepção dos impactos ambientais associados às atividades agrícolas e industriais. A partir do momento em que se reforça a preocupação sobre o peso e a influência que os imperativos de conservação e a recuperação ambiental devem ter sobre a evolução das trajetórias tecnológicas, inicia-se a abertura de espaços para a internalização desses mesmos imperativos nos processos de inovação. É justamente nesse sentido que se afirma sobre o potencial indutor da variável ambiental nas transformações das trajetórias organizacionais e tecnológicas.

Tomando a perspectiva econômica neo-schumpeteriana como ponto de partida, pode-se entender que a variável ambiental é endógena às estratégias inovativas das organizações na medida em que tem o potencial para a geração de assimetrias que

culminam em vantagens competitivas. Assim, inovações desenvolvidas em consonância com imperativos de conservação e recuperação ambiental contribuem para a configuração de um novo padrão de competitividade para produtos, processos e serviços que têm como atributo a qualidade ambiental. Assim, passa a ser determinante para a competitividade das organizações não apenas sua capacidade de gerar, introduzir e difundir inovações, quanto sua capacidade de fazê-lo de forma que essas inovações tenham implicações ambientais positivas (Romeiro e Salles-Filho, 1997).

Contudo, a pressão de ordem econômica se manifesta não apenas no aproveitamento de demandas ambientais como oportunidades tecnológicas, mas também pela restrição econômica que se impõe a partir de um determinado desenho tecnológico. A incorporação da variável ambiental na evolução das trajetórias tecnológicas na agricultura, por exemplo, é em parte decorrente do comprometimento, em longo prazo, da capacidade produtiva dos agroecossistemas em função de um modelo tecnológico agrícola intensivo em insumos químicos e mecanização (Romeiro, 1998).

Não há ainda como descartar a influência dos mecanismos legais e regulatórios na internalização da variável ambiental no processo de inovação, assim como o elemento de conscientização (embora sem contornos claros) dos atores sociais envolvidos na geração de inovações, ou seja, um interesse pessoal de ordem ambiental (tendo em vista a manutenção da qualidade do ecossistema terrestre), que está também recalcado em uma garantia de legitimidade social como meta da organização na qual localizam-se esses atores.

Assim, a partir do ponto em que a questão ambiental é sinalizada no contexto institucional (ambiente seletivo onde organizações atuam), ela adquire um formato tanto de oportunidade quanto de restrição ao desenvolvimento tecnológico, reorientando-o e forçando as organizações a reagirem de formas distintas no que concerne seu processo inovativo. Essa distinção refere-se não apenas à forma como essas diferentes pressões se manifestam nas organizações, como também às competências que a organização tem para responder a essas pressões e para influenciar o contexto no qual atua (agindo em consonância com as novas trajetórias reorientadas em diferentes campos setoriais e disciplinares e contribuindo nessa reorientação). É justamente nesse sentido que torna-se

³ A definição de paradigma tecnológico por Dosi (1984) deriva fortemente da definição de paradigma científico por Kuhn (1975).

determinante a sua capacidade de aprender e de se relacionar com o ambiente no qual se insere.

O REDIMENSIONAMENTO DAS BASES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS

Ao responderem aos imperativos ambientais por meio de seus processos de inovação, as organizações contribuem no desenho de novas bases científicas e tecnológicas que possuem no seu cerne a consideração ambiental. Segundo Castells (1999), ao mesmo tempo em que o debate sobre as relações entre meio ambiente e desenvolvimento científico e tecnológico é permeado por uma certa descrença (dado que historicamente o desenvolvimento científico e tecnológico tem sido responsável por impactos ambientais negativos), a superação desse tipo de relação tem como base a própria ciência (a coleta, análise, interpretação e divulgação de informações científicas sobre a interação entre artefatos produzidos pelo homem e o meio ambiente) e tem como objetivo o desenvolvimento de um novo padrão tecnológico (com minimização e prevenção de impactos ambientais). É nesse sentido que o autor afirma sobre a “[...] *relação estreita e ao mesmo tempo ambígua [...]*” do movimento ambientalista “[...] *com a ciência e a tecnologia*” (Castells, 1999, p. 155).

Sobre o primeiro ponto, ou seja, sobre a base científica que dê subsídios para o desenvolvimento de um novo padrão tecnológico, vigora a idéia de superação de abordagens restritas e da constituição de novos alicerces do qual as organizações devem se valer (além de ajudar a construir) para efetivar sua estratégia de incorporação da variável ambiental no processo de inovação. Essa nova base científica deve ser capaz de lidar com diferentes desafios, quais sejam:

- (i) a *cumulatividade* associada à degradação ambiental dado que problemas por ora imperceptíveis podem se desenvolver a ponto de se tornarem maiores, alcançando os limites do ecossistema (e excedendo sua capacidade de suporte);
- (ii) a *irreversibilidade* associada à degradação ambiental, pois em muitos casos não há como reverter um determinado quadro de degradação já consolidado;
- (iii) a *complexidade* inerente aos sistemas naturais, marcados pelas inter-relações entre os componentes do ecossistema, e que denotam dificuldades para caracterização dos problemas ambientais e dos riscos associados a eles;

- (iv) o *caráter global* dos problemas ambientais, que de acordo com Kemp e Soete (1992) não é restrito às fronteiras geográficas ou populações isoladas;
- (v) a *multidisciplinaridade* (ou ainda a transdisciplinaridade) exigida para lidar com problemas e riscos ambientais, pois trata-se de um conhecimento que envolve diferentes áreas do conhecimento (Healy, 1995).

Foray e Grübler (1996) consideram que esse novo padrão de geração e distribuição de conhecimento pressupõe a sistematização de uma grande e crescente quantidade de informações (capazes de caracterizar os problemas ambientais, os riscos e os impactos associados à eles), além da participação de diferentes atores na construção do conhecimento e no processo de tomada de decisão.

Sobre o segundo ponto, isto é, sobre o desenvolvimento de um novo padrão tecnológico que contribua para a conservação e recuperação ambiental, atenta-se para dois grandes grupos de tecnologias: limpas e de final de circuito (*end-of-pipe*). Tecnologia limpa é aquela que resulta em novos produtos ou processos que previnem impactos ambientais, enquanto tecnologia de final de circuito é aquela que serve para remediar os impactos ambientais existentes. Em geral, as tecnologias limpas envolvem produtos limpos (que apresentam baixos níveis de impacto ambiental ao longo do seu ciclo de vida) e processos limpos (que consomem menos recursos e emitem menos poluentes e resíduos). Já as tecnologias de final de circuito são adicionadas a um sistema de produção já existente para minimizar a emissão de poluentes e resíduos (Cramer e Zegfeld, 1991; Kemp e Arundel, 1998).

Ainda no âmbito das inovações tecnológicas com potencial de contribuição para a conservação e recuperação ambiental, devem ser consideradas as tecnologias instrumentais, que servem para identificar, quantificar e qualificar as condições ambientais, assim como os riscos e impactos ambientais decorrentes de diferentes atividades. Essas tecnologias auxiliam na constituição de uma base para a tomada de decisão em relação à inovação (contribuem no suporte ao processo de planejamento da pesquisa) e também na divulgação dos resultados ambientais benéficos dessas inovações (Rodrigues, 1998; Dearing, 1999; Quirino *et al.*, 1999).

Cramer e Zegfeld (1991) fazem uma observação crítica acerca do desenho desse novo padrão tecnológico com foco ambiental, afirmando que as soluções técnicas isoladas

(sejam elas tecnologias limpas, de final de circuito ou instrumentais) são incapazes de determinar benefícios ou prejuízos ambientais e que a potencialização dos efeitos positivos ou negativos das tecnologias sob a ótica ambiental depende da condução e uso da tecnologia pelas organizações e pela sociedade.

É nesse sentido que se pode afirmar sobre a existência de um terceiro espaço para as tecnologias instrumentais (o qual se soma e se relaciona à sua capacidade de auxiliar o processo de planejamento da pesquisa e de divulgar resultados ambientais das inovações). Esse espaço pode ser entendido como sua capacidade de auxiliar na exploração de resultados ambientais benéficos em inovações cuja motivação não é de ordem ambiental, e conseqüentemente, de auxiliar na condução do desenvolvimento tecnológico e no uso de determinadas tecnologias.

TRAJETÓRIAS ORGANIZACIONAIS E TECNOLÓGICAS

Um quarto conjunto de inovações (além das tecnologias limpas, de final de circuito e instrumentais), também com potencial de contribuição para a conservação e recuperação ambiental, é aquele que se refere às mudanças efetuadas nas organizações tendo em vista a internalização da variável ambiental. Isso significa que esta internalização não se restringe às atividades inovativas, mas toca ainda a capacidade dessas organizações de entenderem e sustentarem esse novo fator de referência através de outras iniciativas.

Da mesma forma que estão atreladas às especificidades das organizações (conhecimentos acumulados ao longo do tempo e capacidade de reação e adaptação às mudanças) essas iniciativas estão também atreladas às motivações que permearam a internalização da variável ambiental no processo de inovação das organizações (regulação, fatores competitivos, consciência ambiental e legitimidade social). Nesse contexto, Kemp e Arundel (1998) destacam a capacidade das organizações:

- (i) de incorporação do foco ambiental no seu mandato;
- (ii) de envolvimento e capacitação de recursos humanos no tema;
- (iii) de incorporação do foco ambiental no planejamento da pesquisa, considerando-o critério importante na priorização de projetos;
- (iv) de entendimento e de criação de respostas aos problemas ambientais criando uma base de conhecimento e ferramentas (monitoramento e avaliação) para esse fim;
- (v) e de estabelecimento de redes e parcerias multi-institucionais.

Em linhas gerais, trata-se da criação de estruturas de aprendizado para integrar o conhecimento ambiental aos processos de pesquisa e desenvolvimento. É por meio do entendimento dessas inovações organizacionais que entende-se o potencial indutor da variável ambiental nas trajetórias organizacionais.

É a partir da reorientação das trajetórias organizacionais que configuram-se novas trajetórias tecnológicas que incorporam o foco ambiental, e que insinuam não só a proposição de novos problemas para o qual passa-se a buscar soluções (essencialmente os problemas de degradação ambiental) como também novos padrões para a solução desses problemas selecionados (e que consideram intrinsecamente os imperativos de conservação e recuperação ambiental). No entanto, cabe lembrar que as organizações possuem capacidades diferenciadas de influenciar a evolução dessas trajetórias tecnológicas, assim como de serem influenciadas por elas.

Além disso, as trajetórias vigentes podem agir tanto como incentivo para a reorientação das trajetórias organizacionais (e que culminam na sua própria reorientação) já que a sua evolução leva à ocorrência de externalidades negativas, que por sua vez redesenham os limites dessas trajetórias e impõem novos desafios de superação, quanto como restrição, pelas suas forças de estabilidade e inércia (*path-dependence* e efeitos de *lock-in*) e ausência de conhecimento sobre os benefícios que uma trajetória alternativa pode oferecer. Ou seja, há todo um contexto institucional adaptado ao paradigma e às trajetórias vigentes que dificultam a evolução e internalização da variável ambiental nas trajetórias organizacionais.

Apesar da sinalização marcante no contexto institucional a partir da década de 80, a indução de transformações nas trajetórias organizacionais e tecnológicas a partir da variável ambiental é um processo recente e em andamento, e que enfrenta uma série de desafios para se efetivar (principalmente quando se considera o peso das motivações ecológicas frente ao peso das motivações econômicas). Dessa forma, pode-se considerar que essa situação está atrelada a um conjunto de mudanças institucionais que devem, constantemente, redesenhar os desdobramentos, limites e pesos que essa variável adquire nas organizações e na sociedade em geral.

A variável ambiental no processo de inovação na agricultura

Assim como nos demais setores, também na agricultura a variável ambiental passou a exercer um peso relativamente importante no processo de inovação a partir da década de 80. Essa influência foi e ainda é responsável por transformações nas trajetórias tecnológicas da agricultura assim como nas trajetórias do conjunto de organizações responsáveis pela conformação dessas trajetórias tecnológicas. Segundo Possas *et al.* (1994) esse conjunto se distingue por seis grupos principais de atores: empresas privadas fornecedoras de insumos e equipamentos para a agricultura, empresas privadas processadoras de produtos agrícolas, instituições públicas de pesquisa e universidades, organizações coletivas não orientadas ao lucro (cooperativas e associações), setor de serviços (por exemplo, de assistência técnica) e as unidades produtivas.

A CONSOLIDAÇÃO DO MODELO AGRÍCOLA PRODUTIVISTA

A evolução dos sistemas agrícolas ao longo da história esteve fortemente relacionada ao aumento de sua produção e de sua produtividade (impulsionada pela pressão demográfica, urbanização, industrialização, expansão do comércio, assim como pelas limitações enfrentadas pelos diferentes processos produtivos adotados historicamente, sejam elas em termos de produtividade, disponibilidade de terra e mão-de-obra e rentabilidade para os agricultores). Com esse objetivo, encaminharam-se estratégias de expansão de fronteiras agrícolas, estabelecimento de monoculturas, utilização de variedades melhoradas, insumos químicos (pesticidas e fertilizantes) e mecanização (Romeiro, 1998; Ehlers, 1999). Destaca-se que algumas dessas técnicas foram formas de conviver com o desequilíbrio, combatendo os fatores responsáveis pela diminuição da capacidade produtiva dos agroecossistemas e não necessariamente eliminando suas causas. É o caso, por exemplo, do uso de pesticidas para combater o surgimento de pragas e doenças em função da simplificação demasiada dos ecossistema original ocasionada pelas práticas de monocultura, ou ainda, do uso de variedades adaptadas a diferentes condições edafo-climáticas de forma a permitir a expansão das fronteiras agrícolas com manutenção da produtividade⁴.

⁴ Romeiro (1998) afirma que a própria degradação do ecossistema agrícola ocasionou um círculo vicioso de superutilização de insumos e de equipamentos, pois ao mesmo tempo em que estes se evidenciam como

Esses esforços, aliados ao crescente envolvimento das atividades agrícolas com a produção de insumos e equipamentos para a agricultura, assim como com os setores responsáveis pelo processamento de produtos agrícolas (Goodman *et al.*, 1990) acabaram por consolidar, ao longo da primeira metade do século XX, o modelo agrícola produtivista, ou ainda, padrão agrícola moderno.

Salles-Filho (1993) resume as características desse modelo produtivista que se consolida na década de 1950 nos países desenvolvidos e nos anos 1960 e 1970 nos países em desenvolvimento (por meio da Revolução Verde⁵) em três pontos centrais: heterogeneidade e complementaridade entre diversos insumos e técnicas; redefinição da inserção da agricultura na economia com integração com segmentos industriais (a jusante e a montante do processo produtivo) e comerciais (interno e externo); e busca pelo aumento de produtividade da terra e do trabalho.

É certo que a evolução das trajetórias tecnológicas na agricultura se deu em consonância com os demais elementos do contexto institucional, essencialmente com as trajetórias das organizações encarregadas da educação técnica dos agricultores, dos institutos públicos de pesquisa agrícola, das indústrias de insumos, equipamentos e processamento dos produtos agrícolas, assim como com as medidas regulatórias e com as oportunidades apontadas no comércio agrícola. Destaca-se ainda, que esse ambiente passou a delinear quais os problemas a serem solucionados dentro do universo da agricultura, assim como o modo de solução desses problemas (Possas *et al.*, 1994) e definitivamente a questão dos riscos e impactos ambientais não se colocava com forte influência em nenhuma dessas duas instâncias.

Dois pontos principais devem ser destacados quando se congregam os elementos determinantes na configuração do modelo agrícola produtivista. O primeiro deles se refere

causas da degradação, são necessários para contornar os efeitos dessa degradação sobre a produtividade (pois é nítido que a degradação dos agroecossistemas compromete sua capacidade produtiva).

⁵ A Revolução Verde, ocorrida a partir da década de 60, foi o processo responsável pela difusão do modelo produtivista a partir dos Estados Unidos e Europa para os países em desenvolvimento. A denominação Revolução Verde tem sua origem nas variedades vegetais altamente produtivas que passaram a ser difundidas em conjunto com demais práticas e insumos, constituindo um grupo de recomendações que ficou conhecido como “pacote tecnológico” (Ehlers, 1999). Assim como ocorrido na consolidação do modelo produtivista nos países desenvolvidos, a Revolução Verde carregou em si um conjunto de mudanças institucionais que passaram a fazer parte do contexto desses países em desenvolvimento, essencialmente no que se refere ao aparato de pesquisa agrícola e extensão rural.

aos impactos ambientais e sociais negativos atrelados à consolidação e difusão desse modelo, essencialmente em decorrência da intensificação dos processos de produção agrícola (pelo uso de insumos químicos, sementes melhoradas e equipamentos) e da expansão das fronteiras agrícolas (Campanhola *et al.*, 1997)⁶. O segundo deles se refere aos sistemas e abordagens alternativas de produção agrícola, mais voltados ao uso de matéria orgânica e processos biológicos (ao invés de insumos químicos), que continuaram existindo, embora confinados em pequenos guetos até a década de 80, a despeito do espaço ocupado pelos sistemas intensivos (Veiga, 1994).

A CRISE DO MODELO PRODUTIVISTA E A EMERGÊNCIA DA QUESTÃO AMBIENTAL

A emergência da variável ambiental como elemento de peso no processo de inovação na agricultura se dá a partir da década de 80, momento em que começa a se evidenciar um questionamento acerca das bases do modelo agrícola produtivista. Por um lado esse questionamento tem como princípio uma motivação de ordem ambiental, que se distingue pela percepção sobre os impactos ambientais e sociais negativos do modelo produtivista, pelo conseqüente comprometimento da capacidade produtiva dos agroecossistemas em função desses impactos (Campanhola *et al.*, 1997) e também pela ampliação do debate sobre meio ambiente e desenvolvimento, que passa a envolver, necessariamente, as relações entre meio ambiente e agricultura.

A ampliação desse debate pode ser ilustrada pelo retrato de uma era de diplomacia ambiental (Benedick, 1999), em que meio ambiente torna-se pauta da agenda prioritária de diversos países e de negociações intergovernamentais, impulsionando, em amplo espectro, conferências, tratados e acordos sobre o tema. A I Conferência Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, organizada pela Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) da Organização das Nações Unidas (ONU), em 1987, é um marco nessa evolução, pela difusão do conceito de *desenvolvimento sustentável* (que

⁶ Alguns dos impactos mais claros são: mudança da paisagem local, mudanças climáticas, extinção de espécies e ameaças à biodiversidade e ao patrimônio genético, esgotamento de recursos naturais, aumento da resistência de pragas e eliminação de inimigos naturais trazendo desequilíbrios na cadeia alimentar, erosão do solo, perda de matéria orgânica e nutrientes, compactação, contaminação dos recursos hídricos, contaminação e poluição da atmosfera, êxodo rural, perda da diversidade cultural (submissão de técnicas e ferramentas tradicionais), intoxicação dos trabalhadores e dos consumidores, diminuição do emprego, valorização da terra, exclusão social.

concerne um modelo de desenvolvimento que garanta a satisfação das necessidades das gerações presentes e as possibilidades das gerações futuras de satisfazerem suas próprias necessidades, incluindo aspectos ecológicos, econômicos, sociais e políticos), que se desdobra posteriormente (quando da realização da Agenda 21 na II Conferência Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Eco-92, realizada no Rio de Janeiro) em outros conceitos, tais como o de *agricultura e desenvolvimento rural sustentável* (Corazza, 1996).

Por outro lado, esse questionamento do padrão agrícola produtivista é decorrência de uma transformação ampla no contexto institucional, e que, de forma geral, culmina em três elementos centrais, em decorrência de pressões de diferentes naturezas, notadamente (mas não apenas), relacionadas com a manutenção da produtividade e competitividade da atividade agrícola (Bonny, 1993; Possas *et al.*, 1994; Salles-Filho *et al.*, 1997; Moyano e Paniagua, 1998):

- (i) transformação na demanda por produtos agrícolas, ou seja, passam a ser sinalizadas no comércio agrícola demandas por produtos de maior qualidade, essencialmente nos quesitos saúde e meio ambiente. É justamente nesse sentido que aumenta-se o interesse por alimentos funcionais, isentos de resíduos de pesticidas, com apelos regionais e sociais etc;
- (ii) mudanças nas políticas agrícolas, pela inclusão de novos temas prioritários (essencialmente sustentabilidade, segurança alimentar, multifuncionalidade) e mudanças nas regras para o comércio agrícola (relativas a subsídios, apoio interno e acesso a mercados). Sobre essa alteração nas regras, destaca-se o espaço aberto para o estabelecimento de barreiras não tarifárias contendo restrições de ordem ambiental e fitossanitária e também o espaço para o apoio interno permitido através da *caixa verde*. Salles-Filho *et al.* (1997) considera essa mudança uma resposta a elevação dos custos das tradicionais políticas de fomento à produção barata com sustentação da renda do produtor agrícola, a criação de excedentes, a tendência de rompimento de barreiras protecionistas e a entrada de novos produtos no mercado internacional.
- (iii) transformações nas bases científicas e tecnológicas da agricultura, ou seja, mudanças na forma de geração e disseminação de tecnologia e conhecimento, principalmente pela biotecnologia e microeletrônica.

A importância desse questionamento se dá justamente na reconfiguração dos limites historicamente presentes na determinação das áreas-problemas na agricultura e das soluções técnicas utilizadas para sua resolução. Nesse sentido, tanto as motivações de ordem ambiental quanto aquelas percebidas em outros elementos do contexto institucional que abriram espaço para as considerações ambientais na agricultura, tornaram-se, a partir da década de 80, presentes no balizamento dos problemas e soluções determinantes das trajetórias tecnológicas e organizacionais do setor agrícola.

NOVAS TRAJETÓRIAS ORGANIZACIONAIS E TECNOLÓGICAS NA PESQUISA AGRÍCOLA

Nesse sentido, também para a agricultura, a partir do ponto em que a questão ambiental é sinalizada no contexto institucional (ambiente seletivo onde organizações atuam), ela adquire um formato tanto de oportunidade quanto de restrição ao desenvolvimento tecnológico, reorientando-o e forçando as organizações a reagirem de formas distintas no que concerne seu processo inovativo.

Em linhas gerais, o processo inovativo passa a responder tanto aos imperativos econômicos, quanto aos imperativos ambientais e sociais. É justamente nesse sentido que entende-se a reorientação das trajetórias tecnológicas na agricultura a partir do princípio da sustentabilidade (viabilidade econômica, equilíbrio ecológico equidade social) e como um conjunto de estratégias corretivas ou reparadoras para manter ou recuperar a qualidade dos recursos e manter a produtividade dos agroecossistemas (Campanhola *et al.*, 1997)).

No entanto, a definição precisa do conceito de agricultura sustentável não é trivial. Ehlers (1999) aponta duas definições de agricultura sustentável (a do Conselho Nacional de Pesquisa norte-americano – NRC e da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO), conceito apontado pelo autor como essencial na conformação do novo paradigma de produção agrícola da década de 1990:

Agricultura sustentável não constitui algum conjunto de práticas especiais, mas sim um objetivo: alcançar um sistema produtivo de alimentos e fibras que: (a) aumente a produtividade dos recursos naturais e dos sistemas agrícolas, permitindo que os produtores respondam aos níveis de demanda engendrados pelo crescimento populacional e pelo desenvolvimento econômico; (b) produza alimentos saudáveis, integrais e nutritivos que permitam o bem estar humano; (c) garanta uma renda líquida suficiente para que os agricultores tenham um nível de vida aceitável e possam investir no aumento da produtividade do solo, da água e de outros recursos e

(d) corresponda às normas e expectativas da comunidade (NRC, 1991).

Agricultura sustentável é o manejo e conservação dos recursos naturais e a orientação de mudanças tecnológicas e institucionais de tal maneira a assegurar a satisfação das necessidades humanas de forma continuada para a presente e futuras gerações. Tal desenvolvimento sustentável conserva o solo, a água e recursos genéticos animais e vegetais; não degrada o meio ambiente; é tecnicamente apropriado, economicamente viável e socialmente aceitável (FAO: Declaração de Den Bosch, 1992).

As imprecisões conceituais e os desdobramentos operacionais relacionadas ao conceito de agricultura sustentável são claros (Ehlers, 1999, Quirino *et al.*, 1999, Altieri, 1998), já que ela é tanto associada às formas de produção da agricultura alternativa (biodinâmica, orgânica, biológica, natural) quanto à práticas de agricultura tradicional mais amenas do ponto de vista ambiental. Dessa forma, a definição sobre as bases científicas e tecnológicas da agricultura sustentável são igualmente imprecisas.

A inovação tecnológica na agricultura, em resposta às oportunidades e restrições ambientais, caminha em duas frentes: viabilização de práticas alternativas e evolução das técnicas associadas ao modelo produtivista (Ehlers, 1999; Kitamura, 2003).

Na primeira linha, concentram-se esforços de resgate de técnicas já utilizadas (e confinadas à pequenos guetos, na expressão de Veiga, 1994), baseadas fortemente nos princípios de rotação de culturas e estabelecimento de consórcios entre agricultura-pecuária, tais como a agricultura biodinâmica, a agricultura orgânica, a agricultura biológica e a agricultura natural e suas variações.

Além disso, é nesse linha que concentram-se os esforços de pesquisa de base agroecológica. A agroecologia é originalmente uma disciplina científica da agronomia que estuda a dimensão ecológica dos sistemas agrícolas e sua interação com processos sociais e econômicos (e que se consolidou ao longo da década de 80). A agroecologia recupera elementos do funcionamento dos ecossistemas naturais e agroecossistemas tradicionais (que utilizam recursos e conhecimento local) para aplicar conceitos e princípios ecológicos ao desenho e manejo de sistemas agrícolas sustentáveis (Altieri, 1998, Assis, 2003, Gliessman, 2003). A associação das práticas agrícolas alternativas com o termo agroecologia se deu pela busca de fundamentação científica para essas práticas por meio da agroecologia (Ehlers, 1999).

Na segunda linha, localizam-se as iniciativas de desenvolvimento de tecnologias mais amenas do ponto de vista ambiental, envolvendo essencialmente a redução do uso de agroquímicos (pesticidas e fertilizantes) e a conservação ambiental, tais como: melhoramento genético (aumento da resistência a pragas e doenças e adaptação a condições específicas), manejo integrado de pragas e técnicas associadas (como o controle biológico), o plantio direto, fixação biológica de nitrogênio e agricultura de precisão (visando a aplicação mais eficiente de agroquímicos (Quirino *et al.*, 1999; Kitamura, 2003).

A identificação de diferenças entre as técnicas utilizadas nos sistemas produtivos alternativos e as técnicas da agricultura intensiva com maior apelo ambiental é tênue por se referir muito mais à abordagem com que são utilizadas do que às suas características intrínsecas. Isso reforça a conclusão da primeira parte do artigo de que as soluções técnicas isoladas não são capazes de determinar sistemas sustentáveis; o que os determina é o arranjo entre essas soluções técnicas no contexto ao qual serão aplicadas.

Ressalta-se ainda um terceiro braço das inovações na agricultura com foco ambiental: as tecnologias instrumentais, que auxiliam na identificação, qualificação e quantificação das condições ambientais, assim como de riscos e impactos ambientais. Configura-se, dessa forma, a base para a geração, introdução e difusão de inovações com potencial de resposta aos imperativos ambientais: produtos agrícolas com maior apelo ambiental, resultantes de processos limpos e sistemas de produção organizados com base nos princípios sustentáveis; e instrumentos para fundamentar negociações comerciais de produtos agrícolas em bases padronizadas (rotulagem, certificação, barreiras não tarifárias etc.).

Feito o delineamento acerca da reorientação das trajetórias tecnológicas na agricultura a partir do ideal da sustentabilidade, ressalta-se o papel essencial do reordenamento das trajetórias das organizações envolvidas em sua conformação. Deve-se retomar a concepção de que as trajetórias evoluem conjuntamente, em decorrência de influências estruturadas de forma dinâmica. É a partir dessa compreensão que desenham-se as iniciativas organizacionais de incorporação da variável ambiental na gestão da pesquisa agrícola (incluindo desde as atividades de planejamento até a execução).

Kitamura (2003) exemplifica essa necessidade de mudanças com o caso das empresas de equipamentos para a agricultura, que foram obrigadas a tornar disponíveis as

semeadeiras-adubadeiras especiais, exigidas por um sistema de plantio que dispensa a preparação do solo (aração e gradagem) fazendo com que o mesmo permaneça coberto com restos de cultura e vegetação durante o ciclo de produção, o que diminui a erosão. Da mesma forma, outras empresas foram obrigadas a redirecionar suas atividades, como é o caso das empresas de pesticidas que passaram a reduzir o perfil toxicológico de seus produtos.

As universidades e institutos de pesquisa também buscaram uma reorganização a fim de lidar com pesquisas agrícolas de base sustentável, o que pressupõe lidar com bases científicas e tecnológicas capazes de trabalhar com a complexidade inerente aos ecossistemas e formar recursos humanos qualificados para esse fim. Uma iniciativa pioneira na aproximação das organizações públicas de pesquisa agrícola com as questões ecológicas foi a do Departamento de Agricultura norte americano, com seu programa Low-Input/Sustainable Agriculture (LISA) de pesquisa e treinamento (iniciado em 1988), que teve sua denominação alterada posteriormente para *Sustainable Agriculture Research and Education Program* (SARE). Em seguida, o Conselho Nacional de Pesquisa (NRC) dos EUA montou um comitê para estudar agricultura alternativa, que culminou com a publicação de *Alternative Agriculture* em 1989. No ano seguinte, por meio de uma lei agrícola, determinou-se que o Departamento de Agricultura deveria promover programas de pesquisa, educação e extensão voltados à agricultura sustentável (Ehlers, 1999).

Bin (2004) ilustra esse processo de reorganização para dois institutos públicos de pesquisa agrícola brasileiros (a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e o Instituto Agrônômico), verificando as formas de internalização da variável ambiental (formais e instrumentais) ao longo das trajetórias evolutivas dessas organizações. Observa-se que apesar das linhas de pesquisa dos dois institutos mostrarem-se alinhadas com as novas trajetórias tecnológicas da agricultura com foco ambiental (principalmente no que se refere à evolução das técnicas do modelo produtivista), a internalização do tema na gestão da pesquisa (planejamento, avaliação *ex-ante* e *ex-post*, relacionamento com diferentes atores) mostra-se como um processo recente e que possui, no entanto, desdobramentos importantes para configuração de novas bases para a inovação tecnológica na agricultura.

Entende-se que, para lidar com a questão ambiental, assim como com as demais questões sinalizadas no contexto institucional (dado que a internalização da variável

ambiental na pesquisa agrícola não se faz de forma separada do conjunto do padrão tecnológico agrícola mais amplo), essas organizações devem ser capazes de promover avanços em seus processos de aprendizado, o que significa melhorar o relacionamento com o ambiente externo e adquirir a percepção das oportunidades que se colocam.

No entanto, também na agricultura deve-se considerar a existência de forças de estabilidade e inércia, pelo contexto institucional adaptado ao modelo agrícola produtivista e que dificultam os processos de inovação sob os imperativos ambientais. Apesar de uma clara sinalização de que os pressupostos ambientais possuem espaço na evolução das trajetórias da agricultura, ainda há desafios a superar, principalmente no que se refere a uma observação mais completa acerca da complexidade dos problemas ambientais e na operacionalização de práticas efetivamente sustentáveis.

Considerações finais

A análise da internalização da variável ambiental no processo de inovação na agricultura ilustra um fenômeno claro de co-evolução entre trajetórias institucionais, tecnológicas e organizacionais, dado que determinado padrão tecnológico não se transforma de forma independente das organizações que representam o *locus* das atividades inovativas e do arcabouço institucional que sustenta esse ambiente de transformações.

A questão ambiental tem o potencial de criar oportunidades de negócio no comércio agrícola (geração de assimetrias e vantagens competitivas) e de abrir espaços para identificação de novas áreas problemáticas e de novas formas de resolução desses problemas nas atividades agrícolas. No entanto, só o entendimento sobre a forma como os diferentes atores responsáveis pela conformação das trajetórias tecnológicas na agricultura incorporam essas oportunidades, restrições e novas formas de ação enquanto estratégia inovativa é que pode de fato ilustrar quais os caminhos evolutivos dessas novas trajetórias.

Dado que o atual padrão tecnológico na agricultura resulta da convergência de diversas trajetórias tecnológicas e organizacionais e do envolvimento de diferentes setores industriais, cujos interesses pesam e contribuem em uma possível transição, torna-se claro que definir um novo regime tecnológico na agricultura, assim como definir o peso da variável ambiental nesse regime, não é uma tarefa trivial, pois exige mais do que uma análise de linhas de pesquisa, a análise conjunta das transformações no contexto institucional e nas diferentes organizações onde ocorre a inovação nessa área.

De forma geral, a observação sobre a conformação das trajetórias tecnológicas na agricultura a partir da década de 80 fornece indícios interessantes sobre o potencial de abertura de espaços para a internalização da variável ambiental no processo de inovação em demais áreas e setores. É a partir desta constatação que torna-se válido compreender a formação de novos padrões científicos e tecnológicos que consideram pressões de ordem ambiental.

Referências Bibliográficas

ALTIERI, M. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 2.ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1998.

ASSIS, R.L. Globalização, Desenvolvimento Sustentável e Ação Local: o caso da agricultura orgânica. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 1, p. 79-96, jan./abr. 2003.

BENEDICK, R.E. Tomorrow's environment is global. **Futures**, Guildford, v. 31, n. 9-10, p. 937-947, 1999.

BIN, A. Agricultura e Meio Ambiente: contexto e iniciativas da pesquisa pública, 2004. Dissertação (Mestrado em Política Científica e Tecnológica) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.

BONNY, S. A padronização tecnológica na agricultura: formas, origem e perspectivas a partir do caso francês. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 10, n. 1/3, p. 9-34, jan./dez. 1993.

CAMPANHOLA, C.; LUIZ, A.J.B.; LUCCHIARI JÚNIOR, A. O problema ambiental no Brasil: agricultura. In: ROMEIRO, A.R.; REYDON, B.P.; LEONARDI, M.L.A. (Org.). **Economia do meio ambiente: temas, políticas e a gestão de espaços regionais**. Campinas: Unicamp/IE, 1997. p. 265-281.

CASTELLS, M. **A Sociedade em Rede**. São Paulo: Paz e Terra, 1999.

CORAZZA, R.I. **A questão ambiental e a direção do progresso de inovação tecnológica na indústria de papel e celulose**, 1996. Dissertação (Mestrado em Política Científica e Tecnológica) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.

CRAMER, J.; ZEGVELD, C.L. The future role of technology in environmental management. **Futures**, Guildford, v. 23, n. 5, p. 451-468, jun. 1991.

DEARING, A. Have we the foresight for sustainable development? **Foresight**, Bradford, v. 1, n. 2, p. 131-142, 1999.

DOSI, G. **Technical Change and Industrial Transformation**: the theory and an application to the semiconductor industry. Londres: MacMillan, 1984.

EHLERS, E. **Agricultura Sustentável**: origens e perspectivas de um novo paradigma. 2. ed. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária Ltda, 1999.

FORAY, D.; GRÜBLER, A. Technology and Environment: an overview. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, v. 53, n. 1, p. 3-13, 1996.

GLIESSMAN, S.R. Agroecología e agroecosistemas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n. 27, p. 107-120, 2003.

GOODMAN, D.; SORJ, B.; WILKINSON, J. **Da lavoura às biotecnologias**: agricultura e indústria no sistema internacional. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda, 1990.

HEALY, A.S. Science, Technology and Future of Sustainability. **Futures**, Guildford, v. 27, n. 6, p. 611-625, 1995.

KEMP, R.; SOETE, L. The Greening of Technological Progress: an evolutionary perspective. **Futures**, Guildford, v. 24, n. 5, p. 437-457, 1992.

KEMP, R.; ARUNDEL, A. **Survey Indicators for Environmental Innovation**. [s.l.]: IDEA, 1998. (Paper series 8). Disponível em: <www.sol.no/step/IDEA/>. Acesso em: 20 set. 2003.

KITAMURA, P. C. Agricultura Sustentável no Brasil. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n. 27, p. 7-28, 2003.

KUHN, T.S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Editora Perspectiva S.A., 1975.

MOYANO, E.; PANIAGUA, A. Agricultura, espacios rurales y medio ambiente. **Revista Internacional de Sociologia (RIS)**, Madrid, n. 19 y 20, p. 127-152, enero/agosto 1998.

OSLO Manual, 1995. Disponível em: <<http://www.oecd.org/dataoecd/35/61/2367580.pdf>>. Acesso em: 29 jul. 2003.

POSSAS, M.L.; SALLES-FILHO, S.; SILVEIRA, J.M. An evolutionary approach to technological innovation in agriculture: some preliminary remarks. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 11, n. 1/3, p. 9-31, 1994.

QUIRINO, T.R.; IRIAS, L.J.M.; WRIGHT, J.T.C. **Impacto Agroambiental**: perspectivas, problemas e prioridades. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1999.

RODRIGUES, G.S. **Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico agropecuário**: fundamentos, princípios e introdução à metodologia. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA, 1998.

ROMEIRO, A.R. **Meio ambiente e dinâmica de inovações na agricultura**. São Paulo: Annablume: FAPESP, 1998.

ROMEIRO, A. R.; SALLES FILHO, S.L. Dinâmica de inovações sob restrição ambiental. In: ROMEIRO, A.R.; REYDON, B.P.; LEONARDI, M.L.A. (Org.). **Economia do meio ambiente**: temas, políticas e a gestão de espaços regionais. Campinas: Unicamp/IE, 1997. p. 83-122.

SALLES-FILHO, S.L. **A dinâmica tecnológica da agricultura**: perspectivas da biotecnologia, 1993. Tese (Doutorado em Política Econômica) - Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas.

SALLES-FILHO, S.; ALBUQUERQUE, R.; MELLO, D.; Novos rumos da pesquisa agrícola e agroindustrial. In: ALMEIDA, J.; NAVARRO, Z. (Org). **Reconstruindo a agricultura: idéias e ideais na perspectiva do desenvolvimento rural sustentável**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1997. p. 189-203.

VEIGA, J.E. Problemas da transição à agricultura sustentável. Est.Econ., São Paulo, v. 24, n. especial, p. 9-29, 1994.