

# Modelo Evolucionário de Aprendizado Agrícola\*

*José Eustáquio Ribeiro Vieira Filho*

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) e Universidade de Brasília (UnB)

*José Maria Ferreira Jardim da Silveira*

Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)

Recebido: 15/10/2010 Aprovado: 17/01/2011

---

## RESUMO

A definição do setor agrícola como sendo *dominado pelos fornecedores* é uma pressuposição muito restritiva, já que define a mudança tecnológica como residual. O processo de aprendizado do agricultor no decorrer do tempo é responsável pelo aumento da produtividade e, paralelamente, pela redução dos custos de produção, dependendo da capacidade do produtor de interpretar e assimilar as novas informações, bem como da habilidade gerencial do uso do conhecimento tecnológico. Os investimentos na capacidade gerencial dos agricultores possibilitam um melhor aproveitamento do conhecimento externo. No intuito de sistematizar o encadeamento das principais ideias da dinâmica agrícola, buscou-se construir o *modelo evolucionário de aprendizado*. Os resultados preliminares mostraram que os produtores inovadores, em média, mantêm posições de vanguarda tecnológica. O aumento da capacidade de absorção auxilia nos ganhos produtivos e nas quedas dos custos.

\* Os autores agradecem aos pareceristas anônimos pelos comentários e, de forma especial, ao Groupe de Recherche en Économie Théorique et Appliquée da Université Montesquieu-Bordeaux IV, em nome do Professor Yves André Fauré, que estabeleceu contato permanente do nosso projeto de pesquisa com professores e pesquisadores das áreas de modelagem e de inovação tecnológica. Embora significativos os comentários e o auxílio na pesquisa, não nos eximimos da responsabilidade pelas interpretações feitas, bem como pelos erros e omissões que por acaso estejam aqui contidos.

PALAVRAS-CHAVE | Economia Evolucionária; Mudança Tecnológica; Inovação; Tecnologia Agrícola.

Códigos JEL | B52; O3; O31; Q16.

### An Evolutionary Model of Learning in Agriculture

#### ABSTRACT

The definition of the agriculture sector as a *supplier dominated* is a very restrictive supposition which implies that the technological changes would be residual. The learning process of the farmer throughout, determines the increase in productivity, and simultaneously the reduction in the cost of production, which all depends on the ability of the producers to recognize the value of new information, as well as the managerial ability to apply technological knowledge. The investments in the managerial capability of the farmers allow taking better advantage of the external knowledge. With the aim of systemizing the chains of the main ideas on agricultural dynamics, one has sought to construct the ***Evolutionary Model of Learning***. Preliminary results showed that innovative producers on average maintain an avant-garde technological stance. The increase in the absorptive capacity serves to conquer gains in production and to make lower costs.

KEYWORDS | Evolutionary Economics; Technological Change; Innovation; Agricultural Technology.

JEL-Codes | B52; O3; O31; Q16.

---

## 1. Introdução

A interação entre a ciência, a tecnologia e a produção é bastante discutida sob o enfoque da teoria evolucionária. A definição do setor agrícola como sendo *dominado pelos fornecedores*<sup>1</sup> é uma pressuposição muito restritiva, já que define a mudança tecnológica como residual. Nesse sentido, o presente estudo procura responder ao problema de qual seria o tratamento mais adequado do setor agrícola de produção como dinâmico e propulsor de efeitos de transbordamento.

A compreensão adequada do setor agrícola deve identificar que nem todo o desenvolvimento tecnológico e a geração de novos conhecimentos estão cristalizados nos insumos produtivos. A agricultura não funciona por meio de agentes receptores passivos de tecnologias. O processo de inovação na agricultura, que define tanto a questão da adoção quanto os parâmetros da difusão tecnológica, é estruturado dentro de complexos arranjos produtivos e de instituições (públicas e privadas) promotoras do conhecimento.

Considerando a existência prévia de um arcabouço institucional que fomenta a geração de conhecimento público e de oportunidades tecnológicas, este trabalho vem demonstrar que a inovação na agricultura depende da acumulação do conhecimento. O processo de aprendizado do agricultor no decorrer do tempo é responsável pelo aumento da produtividade e, paralelamente, pela redução dos custos de produção, dependendo da capacidade do produtor de interpretar e assimilar as novas informações, bem como da habilidade gerencial do uso do conhecimento tecnológico.

De um lado, grande parte da pesquisa e desenvolvimento é determinada fora da porteira (órgãos públicos e instituições privadas, extensão agrícola e indústrias fornecedoras de insumos tecnológicos) e coordenada por um sistema agroindustrial de inovação, no qual o Estado possui papel preponderante no provimento de tecnologias de domínio público. De outro, os investimentos e as atividades de experimentação são exercidos dentro da unidade produtiva, gerando maior estoque de conhecimento e ampla capacidade de absorção, além de estimular a apropriação privada dos ganhos produtivos. Desta forma, os investimentos na capacidade gerencial dos agricultores possibilitam um melhor aproveitamento do conhecimento externo. No intuito de sistematizar o encadeamento das principais ideias da dinâmica agrícola, buscou-se construir o *modelo evolucionário de aprendizado*.

1 A *la* PAVITT (1984).

Os resultados preliminares mostraram que os produtores inovadores, em média, mantêm posições de vanguarda tecnológica. O aumento da capacidade de absorção auxilia nos ganhos produtivos e nas quedas dos custos. Considerando-se suas limitações, verificou-se que a mudança tecnológica é essencial para a compreensão da dinâmica agrícola, sendo que a adoção tecnológica é, via capacidade de absorção e aprendizagem localizada, uma das formas de tratamento adequado do crescimento do setor agrícola.

## 2. Fundamentos da abordagem evolucionária

A abordagem evolucionária<sup>2</sup> do crescimento econômico surge como forma alternativa de estudar o processo de mudança tecnológica (até então estático e exógeno) por meio de uma análise dinâmica,<sup>3</sup> em que a acumulação de capital não se dá apenas por acréscimos residuais de eficiência produtiva ao longo do tempo. Tal alternativa teórica buscou reiterar a importância do progresso técnico como fonte principal do crescimento econômico, bem como propor melhor base explicativa aos fenômenos relacionados à mudança tecnológica.

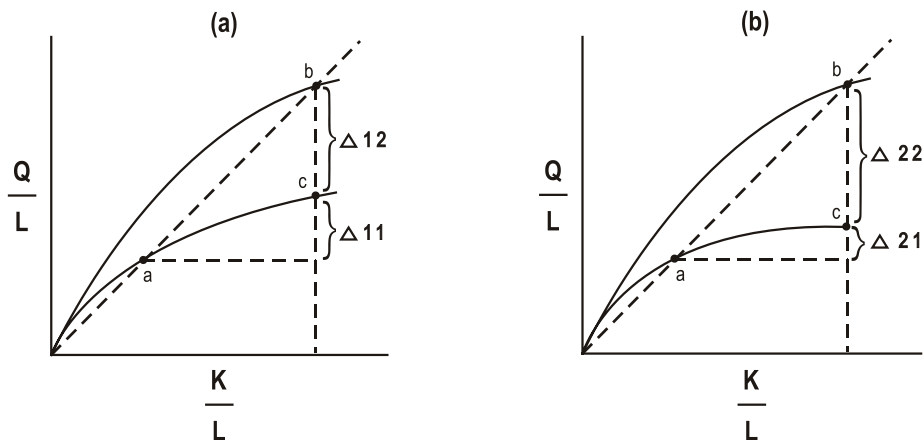
Em artigo intitulado *A contribution to the theory of economic growth*, Solow (1956) estabeleceu as bases para uma discussão teórica do desenvolvimento econômico por meio de um modelo de crescimento. Todavia, tal formalização do pensamento entendia a mudança tecnológica como um resíduo, já que os ganhos produtivos eram determinados pelo uso intensivo de fatores ou por um deslocamento da curva de produção. No ano seguinte, Solow (1957) elaborou trabalho empírico *Technical change and the aggregate production function*, explicando de que maneira a poupança, o crescimento demográfico e o progresso tecnológico afetavam o aumento do produto. Uma de suas principais conclusões identificou a importância relativa da mudança tecnológica no crescimento do produto em mais de 87%.<sup>4</sup>

2 Para uma revisão histórica do pensamento evolucionário e dos principais conceitos, confira Nelson e Winter (1982, cap. 1 e 2), Foray (1989), Langlois e Everett (1994), Maiwald (1998), Cerqueira (2000) e Dopfer (2005).

3 Dinâmica não significa meramente a indexação do tempo (*time-indexed*), como o termo é usado na literatura de equilíbrio intertemporal. Conforme Lane (1993a e 1993b), um modelo que simula a realidade dinâmica específica leis de transição que governam como o estado da natureza no tempo  $t$  se transforma no estado no tempo  $t+1$ . Diferentemente da teoria de expectativas racionais, estas leis não são função do estado futuro da natureza.

4 Em termos pragmáticos, há problemas quanto a esta interpretação matemática. Supondo que a função de produção seja descrita por  $y = AK^\alpha L^\beta$  (onde  $y$  é o produto,  $K$  o capital,  $L$  o trabalho e  $A$  o estado da tecnologia), o crescimento percentual de  $y$  será igual ao somatório percentual do crescimento de  $A$ , a percentual do crescimento de  $K$  e  $\beta$  percentual do crescimento de  $L$ . Embora a formulação confirme que o crescimento em  $A$  mensura a total contribuição da mudança tecnológica no crescimento do produto, é fácil perceber que os melhoramentos tecnológicos não apenas elevam a produtividade do capital, mas também induzem investimentos adicionais (novos insumos requeridos

**FIGURA 1**  
Curva ou fronteira de produção e interpretações sobre o crescimento da produtividade



Fonte: Adaptado de Nelson e Winter (1982, p .200).

De acordo com a Figura 1, deslocamentos para cima na curva ou fronteira de produção representariam mudanças tecnológicas. No caso da figura (a), mantido o trabalho constante, o produto teria crescido na magnitude de  $\Delta 11$  (entre a e c), caso o capital aumentasse. Porém, a função de produção não seria alterada. O aumento do produto por trabalhador não explicado pelo crescimento da taxa capital-trabalho é dado por  $\Delta 12$ , relacionado à mudança tecnológica (do ponto a ao b). Na figura (b),  $\Delta 21$  pode ser atribuído ao crescimento do capital por trabalhador e  $\Delta 22$  às transformações tecnológicas. Quanto mais difícil for a substituição de um fator produtivo pelo outro (ou seja, menor a elasticidade de substituição técnica), menor será o crescimento da produtividade relacionado à intensidade de capital e maior será a importância relativa dada à mudança tecnológica.

Desde então, inúmeros estudos empíricos<sup>5</sup> apontaram para a significativa relevância do progresso técnico no tocante ao crescimento produtivo e tentaram, em certa medida, destacar o papel do aprendizado e do conhecimento cumulativo

e treinamentos, por exemplo). Neste caso, diferentemente da função de produção, a formação de capital, além de facilitar o crescimento, não deve ser considerada independente do produto. Se a mudança tecnológica é a variável que explica em sua maior parte as variações no produto, a produtividade do capital não pode ser considerada um resíduo, mas sim determinada de forma endógena, pois depende das discussões de gasto em inovação em qualquer modelo de crescimento.

5 Cf. Denison (1964), Jorgenson e Griliches (1967), Mankiw, Romer e Weil (1992) e Grossman e Helpman (1994).

na explicação residual. Mankiw, Romer e Weil (1992), por exemplo, avaliaram as implicações do modelo de crescimento de Solow e concluíram que, mesmo com níveis de disparidade internacional de renda *per capita* e taxas de crescimento, os resultados eram consistentes com a evidência empírica, ao incorporarem a ideia do capital humano como um fator cumulativo. Já Grossman e Helpman (1994) atentaram para o investimento em conhecimento na busca de lucros como sendo fundamental para o crescimento de longo prazo. No intuito de incluir aspectos mais explicativos ao progresso técnico, procurou-se entender de que forma as economias investem em conhecimento.

A teoria neoclássica do crescimento endógeno incluiu o capital humano e os investimentos em educação numa tentativa de melhor explicar o progresso tecnológico; entretanto, não se alteraram os pressupostos teóricos de análise, os quais eram baseados no equilíbrio estável e na racionalidade substantiva (maximizadora). Primeiramente, as empresas convergem para um equilíbrio produtivo, condizente com a estabilidade do padrão tecnológico. Em segundo, não existem limitações de ordem econômica ou mesmo de coleta e processamento de informações por parte dos agentes, o que reduz o grau de incerteza a um nível probabilístico aceitável.

Como crítica às premissas acima,<sup>6</sup> nada assegura que a empresa encontrará um ponto de equilíbrio produtivo. As decisões produtivas desejadas nem sempre são iguais às efetivas. Uma alteração na parcela de mercado de uma empresa, por exemplo, cria uma reação na estratégia produtiva das demais concorrentes. O conjunto das decisões das firmas diante das mudanças estruturais de mercado se insere numa competição de buscas tecnológicas, nem sempre estáveis, e em um processo de ajustamento das estratégias, fundamentado num grau elevado de incerteza, o que normalmente conduz a economia para um ponto fora do equilíbrio.

O desequilíbrio é um fenômeno comum dentro da abordagem evolucionária, a qual se funda em dois pilares centrais. O primeiro está relacionado a uma força interna propulsora de comportamentos diferenciados entre os agentes, e o segundo a um mecanismo seletivo da diversidade comportamental que define propriedades emergentes da mudança tecnológica e do crescimento econômico. A concorrência<sup>7</sup> entre as empresas caracteriza-se pela busca permanente de diferenciação de produto no sentido amplo (novos produtos e processos, mudança na organização produtiva, desenvolvimento de tecnologias, novos mercados e arranjos institucionais) por meio

6 Para um debate acerca de elementos críticos ao equilíbrio estável e à racionalidade substantiva, ver Metcalfe (2002, cap.1) e Possas (2002).

7 Conhecida por concorrência *schumpeteriana*, já que revisita as ideias de Schumpeter (1946 e 1947; cap. 6, 7 e 8).

de estratégias individuais, tendo em vista a obtenção de vantagens competitivas que proporcionem lucros de monopólio.<sup>8</sup>

Como explicado por Iwai (1981a e 1981b), a diversidade entre os agentes pode ser resultado da mudança tecnológica. O autor apresenta um modelo de adoção (inovação) e difusão (imitação) tecnológica que explica a diversidade entre as empresas, no longo prazo, dentro de um processo de seleção. A imitação constitui uma força de equilíbrio (não uniforme, mas logística) do estado da tecnologia, no qual os potenciais imitadores têm acesso à tecnologia mais eficiente do mercado. A diversidade tecnológica resulta essencialmente do processo de inovação, o qual tem caráter cumulativo e promove descontinuidades na dinâmica do sistema. A evolução da indústria, por meio de um determinado estado da tecnologia, é governada por uma iteração dinâmica entre a força de equilíbrio e contínua da imitação e a força desequilibrada e descontínua da inovação.

Na mesma linha de pensamento, para Silverberg, Dosi e Orsenigo (1988), a diversidade entre as empresas é uma característica inerente do ambiente industrial no contexto da mudança tecnológica. A tecnologia é caracterizada por variados níveis de proteção do conhecimento, pelas incertezas dos desfechos técnicos e comerciais dos esforços inovativos, pelas oportunidades que fomentam o avanço técnico, pela capacidade de inovar com base em inovações passadas e pelas propriedades da natureza do conhecimento e da experiência em que as atividades inovativas estão baseadas. Ademais, como já identificado por Sahal (1981a, 1981b e 1885), Dosi (1982 e 1984, cap. 2), David (1985), Arthur (1989) e Mowery e Rosenberg (2005), as tecnologias se desenvolvem relativamente ao longo de caminhos (ou trajetórias) moldados nas propriedades técnicas específicas, na busca por regras e na acumulação de conhecimento incorporado em cada paradigma tecnológico. O contexto histórico define a dependência do caminho (*path dependence*), no qual o passado influencia o rumo das trajetórias futuras.

De acordo com Malerba e Orsenigo (1995) e Breschi, Malerba e Orsenigo (2000), a tecnologia está relacionada ao regime tecnológico.<sup>9</sup> que define os padrões inovativos segundo as condições de oportunidade (*opportunity*), apropriabilidade (*appropriability*), e cumulatividade (*cumulativeness*) e as propriedades ligadas à natureza e à transmissão do conhecimento.

8 Cf. Iwai (1981a e 1981b); Nelson e Winter (1982); Dosi (1984); Silverberg, Dosi e Orsenigo (1988) e Metcalfe (2002).

9 A noção de regime tecnológico está relacionada aos conceitos de paradigmas e trajetórias tecnológicas. Estes últimos procuram captar a ideia de que as tecnologias diferem entre si por meio de um desenvolvimento baseado numa lógica interna forte e autônoma.

As oportunidades tecnológicas estão associadas ao potencial inovativo de cada tecnologia e aumentam conforme o crescimento dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Em geral, a probabilidade de inovar é crescente com o nível de oportunidades tecnológicas. Em certos casos, um nível elevado de oportunidades tecnológicas está associado a uma grande variedade de métodos e soluções técnicas. Quando o grau de oportunidades tecnológicas é elevado, os novos conhecimentos, ligados às inovações, podem ser utilizados em vários processos de produção ou mesmo em diferentes mercados.

A apropriabilidade relaciona-se ao grau de proteção das inovações contra as imitações. Este grau de proteção pode ser exemplificado pelos direitos de propriedade, controle de ativos complementares, segredos industriais e patentes. Quanto maior for a apropriação do conhecimento, maior será a proteção do saber e, conseqüentemente, menor a sua difusão tecnológica. Em outras palavras, supondo que o grau de apropriação das inovações seja elevado, as empresas inovadoras têm a possibilidade de se proteger eficazmente das imitações, explorando de forma sustentável as vantagens econômicas ligadas às inovações. Caso contrário, se o ambiente tecnológico é caracterizado por um nível elevado de efeitos de transbordamentos (*spillovers*) ou externalidades positivas, o processo de imitação será favorecido. Portanto, as condições de apropriação das inovações determinam as possibilidades de retenção privada do conhecimento e, assim, podem garantir lucros aos agentes inovadores.

A cumulatividade pode ser entendida pelas inovações sequenciais com melhoramentos graduais, ou seja, a capacidade de inovar com base em inovações passadas e áreas correlatas. Uma inovação cria uma margem de inovações subseqüentes, que constituem melhoramentos incrementais no conhecimento original, ou geram conhecimentos que serão utilizados em outros campos do saber. O caráter cumulativo do processo de inovação determina o impacto das inovações sobre o potencial das futuras inovações. Ao se pensar num processo inovativo fortemente cumulativo, as empresas que obtiverem sucesso inovativo no período corrente possuirão uma probabilidade de inovar mais elevada no futuro, quando comparadas às outras malsucedidas. O processo de inovação cumulativo associa-se àqueles ambientes tecnológicos representados por rendimentos crescentes das atividades de pesquisa.

Por fim, no que se refere às propriedades da base do conhecimento, é possível distinguir duas características essenciais: a natureza e a transmissão do conhecimento. Na primeira, o conhecimento tecnológico é definido pelo seu grau de especificidade, de codificação e de complexidade. O conhecimento é dito específico na medida em que é codificado e voltado às aplicações industriais. No outro extremo, o conhe-



cimento é amplo e generalizado, podendo ser aplicado em diferentes domínios e utilizado como tema de pesquisa científica. A segunda característica está acoplada ao modo de transmissão do conhecimento. Os conhecimentos codificados e simples (sem barreiras ao processamento) podem ser facilmente transmitidos por meio de publicações, patentes ou mesmo licenças. Caso contrário, o caráter tácito (*tacitness*) do conhecimento, que não é público, pode dificultar a difusão da técnica entre os agentes.

O processo de inovação possui papel fundamental na dinâmica competitiva dos agentes. A acumulação de competências e de conhecimentos tecnológicos, assim como a experiência adquirida, determina as atividades de inovação das empresas.<sup>10</sup> O conhecimento tecnológico é gerado por firmas ou instituições estabelecidas no mercado. Enquanto algumas são especializadas no desenvolvimento da ciência básica, a qual compreende os conhecimentos fundamentais para a compreensão de fenômenos naturais, outras priorizam a criação de conhecimentos específicos, ou aplicados a certos usos e problemas industriais (STOKES, 2005; DOSI, 1988). Esta especialização tem por finalidade concentrar esforços num outro aspecto do conhecimento, que se apresenta como tácito (não público) ou codificado (elementos universais de domínio amplo).<sup>11</sup>

A possibilidade de codificar ou não o conhecimento determina em parte como serão os padrões de aquisição ou acumulação. Quanto mais codificado for o conhecimento, mais rápida será a sua transferência. No outro extremo, quanto menos codificado, ou seja, quanto maior for o conhecimento tácito, a sua difusão será mais lenta. Como as empresas dependem de sua base de conhecimento e das experiências passadas, a capacidade de inovação se diferencia entre os agentes. A tecnologia incorpora um conjunto de conhecimentos codificados e tácitos, que estabelecem distintos parâmetros de adoção e difusão do conhecimento tecnológico entre os vários agentes (DOSI, 1988).

Sob condições de incerteza e complexidade das decisões dos agentes, deve-se enfocar o conceito de racionalidade limitada (*bounded rationality*), pois é o contraste entre a complexidade ambiental e as limitações dos agentes, que restringe a possibi-

10 "(...) a study of creative response in business becomes coterminous with a study of entrepreneurship. The mechanisms of economic change in capitalist society pivot on entrepreneurial activity" (SCHUMPETER, 1947, p. 150).

11 Para uma abordagem acerca da interação entre a ciência básica e a inovação tecnológica, ler o livro de Stokes (2005), que define o "quadrante de Pasteur" como sendo o esforço a ser buscado. O método de pasteurização é visto como uma combinação de objetivos na busca do entendimento mais amplo do conhecimento biológico e do uso aplicado às condições de saúde pública.

lidade de cálculo maximizador. A limitação decorre da complexidade do ambiente que envolve as decisões dos agentes, que não conseguem atingir a racionalidade plena. De acordo com Simon (1979 e 1987), os agentes são assumidos racionais, porém, limitados com relação à capacidade de processamento das informações. É praticamente impossível operar por meio de estratégias ótimas, dada a magnitude dos custos econômicos de coleta e processamento das informações, sem levar em conta o tempo que seria gasto para a realização de tais tarefas. A racionalidade limitada pode favorecer a emergência de desequilíbrios. Todavia, tal conceito não é suficiente nem mesmo condição necessária para que os desequilíbrios ocorram.<sup>12</sup>

O conceito de racionalidade limitada considera que os agentes possuem capacidades cognitivas restringidas. Entretanto, o mesmo não explica como os agentes tomam suas decisões em um ambiente de incertezas. Nesse sentido, em oposição ao conceito de racionalidade substantiva (*substantive rationality*), Simon (1979 e 1987) desenvolveu a ideia de racionalidade processual (*procedural rationality*).<sup>13</sup> Num ambiente de incertezas, a racionalidade processual leva os agentes a decompor o problema em formas secundárias de análise da complexidade. A decomposição permite uma melhor compreensão do ambiente decisório, o qual está baseado numa

12 Em Baumol e Wolff (1995), tem-se a elaboração de um modelo que ilustra a causalidade entre a racionalidade imperfeita e o surgimento dos desequilíbrios. A complexidade dos processos econômicos é tão elevada que o modelo não permite uma análise desta causalidade. De acordo com a taxonomia das estratégias de negócio de Tirole (1988), mesmo sob um enfoque de teoria dos jogos, a concorrência entre as empresas determina diferentes resultados, que incluem distintas estratégias (*Top dog, Puppy dog, Lean and hungry e Fat cat*). Em cada uma das possíveis estratégias, a empresa decide, dependendo do seu tamanho, investir de forma mais ou menos agressiva, no intuito de bloquear, acomodar ou mesmo desencorajar a entrada de novos competidores. Mesmo num contexto de equilíbrio de mercado, o modelo de Ericson e Pakes (1995), embora trabalhe com a hipótese de expectativas racionais, mostra a diversidade dos agentes. Apresenta-se a evolução da estrutura industrial ligada aos resultados das atividades de pesquisas das firmas e às interações concorrenciais entre as empresas estabelecidas e as entrantes. A evolução das estruturas industriais é probabilística e converge para uma distribuição estacionária. O caráter ergódico da dinâmica industrial permite a definição de um equilíbrio perfeito de Nash na cadeia de Markov, que se baseia na antecipação dos eventos futuros. Assim, os agentes otimizam os rendimentos esperados futuros de forma independente dos eventos passados, o que não ocorre com os modelos evolucionários que geram uma dinâmica baseada nas experiências passadas. Como observado por Oltra (1997), a dinâmica industrial dos modelos evolucionários tem caráter cumulativo e de caminhos de dependência, o que se opõe ao modelo destes últimos autores. Ademais, nos modelos evolucionários, dadas as hipóteses de comportamento, os agentes não são capazes de determinar as probabilidades de transição do sistema e, conseqüentemente, não podem calcular a função de distribuição estacionária. É, por este motivo, que os modelos evolucionários procuram estudar as propriedades da evolução das trajetórias, ao contrário de focarem na convergência do sistema diante de um equilíbrio estável.

13 Segundo Iwai (1981a; p. 3), "(...) This notion of rationality should, however, be distinguished from the very limited notion of rationality used in the orthodox theory. While the latter identifies rational behaviors as the optimization of a well-specified objective function over a sharply defined set of alternative actions whose outcomes are (at least probabilistically) fully anticipated, the former assumes a much broader position which takes due account of the limits of human capacities to comprehend and compute in the face of uncertain environment and complex cognitive process. It is, in other words, equivalent to what Herbert Simon called the procedural rationality or bounded rationality".

pesquisa de informações com distintas alternativas de respostas ao problema. Os agentes não possuem a capacidade de efetuar uma escolha ótima e, desta forma, buscam uma regra que promova um resultado satisfatório. Em muitos casos, esta busca é traduzida por regras de decisão que determinam um nível de satisfação dos agentes (regras do tipo *satisficing*). Já o conceito de racionalidade substantiva,<sup>14</sup> utilizado na teoria ortodoxa, está ligado à ideia de que as decisões dos agentes se baseiam num processo de maximização condicionada de uma função objetivo.

Ao entender a tecnologia como uma série de pedaços do conhecimento (teórico e prático), pode-se determinar o que vem a ser o paradigma científico e o progresso técnico. O primeiro define o campo dos questionamentos, dos problemas, dos processos e das tarefas, ou melhor, a tecnologia em si. Já o progresso técnico é determinado por certo paradigma tecnológico. As trajetórias tecnológicas são definidas como soluções padronizadas das atividades produtivas no campo do paradigma tecnológico, que pode ser aqui entendido por um programa de pesquisa. Uma forma geral paradigmática do conhecimento tecnológico, segundo Dosi (1984 e 1988), é a de que as atividades inovadoras são fortemente seletivas, finalizadas em direções precisas e cumulativas nas capacidades de solucionar problemas.

Mediante o analisado, os regimes tecnológicos são determinados em função de quatro fatores que representam os padrões inovativos: as oportunidades tecnológicas; as condições de apropriação das inovações; o caráter cumulativo do processo de inovação; e as propriedades da base do conhecimento. As características dos padrões inovativos não se alteram entre as regiões, mas diferem-se significativamente entre os setores industriais. Dois regimes tecnológicos são apontados por Winter (1984): o Schumpeter I, classificado como empreendedor (*entrepreneurial*); e o do tipo Schumpeter II, classificado como rotineiro (*routinier*). Esta distinção permite estabelecer uma diferenciação dos setores industriais por meio dos seus respectivos padrões inovativos, seja em função das características tecnológicas ou mesmo do processo de inovação.

Por meio de um estudo estatístico e econométrico, Malerba e Orsenigo (1996) e Breschi, Malerba e Orsenigo (2000) estudaram as diferenças entre os padrões de indústrias inovadoras. O primeiro regime caracteriza-se por um padrão de destruição criadora (*creative destruction*), em que as inovações são introduzidas por organizações que nunca inovaram. O padrão inovativo industrial deste regime, também

14 A hipótese de racionalidade substantiva é extremamente criticada por não se adaptar em situações em que os agentes se defrontam com novos problemas. O surgimento das inovações está geralmente associado a um grau de incerteza radical, o que impossibilita um cálculo de otimização dos ganhos esperados e da mensuração das utilidades.

chamado de amplo (*widening*), comporta-se como sendo não concentrado, o que é um resultado da maior competição via entrada e saída de empresas. O maior fluxo competitivo proporciona maior instabilidade hierárquica das firmas inovadoras, bem como maior utilização de mecanismos de apropriação tecnológica, como, por exemplo, um maior uso de patentes. O segundo regime é caracterizado por um padrão de acumulação criadora (*creative accumulation*), em que as inovações são introduzidas por empresas que já inovaram anteriormente. Determinado como profundo (*deepening*), tal regime, ao contrário do primeiro, tem como característica a concentração industrial, o que cria maior estabilidade hierárquica entre as empresas inovadoras e menor uso de patentes. Este segundo padrão, conseqüentemente, possui elevadas barreiras à entrada.

Assim, é possível explicar, em termos gerais, a continuidade ou descontinuidade da mudança tecnológica. Enquanto a inovação incremental (associada ao regime Schumpeter II) faz parte de um progresso técnico normal, a inovação radical (Schumpeter I) está na emergência de um novo paradigma tecnológico. O modelo de Chiaromonte, Dosi e Orsenigo (1993) ilustra bem o impacto da diversidade dos comportamentos e das competências sobre a taxa de inovação. Tem-se um modelo de dois setores em que as inovações se traduzem por aperfeiçoamentos, radicais e/ou incrementais, de produtos ou processos na produção. Então, a busca por novos produtos e processos não pode ser considerada aleatória, já que os paradigmas apresentam os caminhos bem delineados. A ideia de paradigmas e trajetórias pode ser um fenômeno observável passível de acumulação e avanços tecnológicos e, neste caso, o progresso técnico deve ser definido por um caminho tecnológico (DOSI, 1982, 1984 e 1988).

Assim, a multiplicidade de competências e de conhecimentos favorece os processos de aprendizado e de exploração das potencialidades tecnológicas disponíveis no mercado. A diversidade entre as empresas, ou mesmo dentro de uma indústria, pode ser classificada em três categorias. A primeira relaciona-se às diferenças em termos de competências individuais. Os atrasos tecnológicos, por sua vez, estão relacionados aos distintos níveis de sucesso na adoção, ou no uso efetivo de um novo produto ou processo, bem como nos custos relativos de produção. A segunda diz respeito às variadas formas de buscas, que podem ser por processos, combinações mais eficientes de insumos e novos produtos (mesmo que os custos sejam similares). Por fim, a terceira categoria refere-se à diversidade do comportamento industrial, representado por diferentes estratégias individuais na composição do investimento, do sucateamento técnico, da definição de preço e da pesquisa e desenvolvimento.

A distinção entre aprendizagem interna e externa permite elaborar uma tipologia do processo de aprendizado. A aprendizagem interna associa-se às capacidades gerenciais das empresas em realizar as atividades de pesquisa, bem como promover o desenvolvimento de conhecimentos básicos. Já a externa baseia-se na absorção e exploração de conhecimentos provenientes de fontes externas. O modelo econométrico desenvolvido por Cohen e Levinthal (1989 e 1990) permite uma explicação dos mecanismos que guiam a acumulação de conhecimentos e os processos do aprendizado externo. Segundo um instrumental evolucionário, Llerena e Oltra (2002) concluem que as estratégias de busca (interna e externa) do aprendizado conduzem às assimetrias tanto na estrutura de mercado quanto no desempenho tecnológico.

As decisões econômicas que envolvem a produção presente buscam realizar, por meio de estratégias inovadoras, investimentos no aumento da capacidade produtiva futura. Entretanto, nem sempre o investimento realizado condiz com o esperado ou desejado, já que as decisões empresariais ocorrem sob incerteza. Vale destacar, de um lado, a impossibilidade prática de manter o pleno conhecimento acerca de todas as alternativas decisórias e, de outro, o caráter imperfeito da antecipação de eventos futuros (por exemplo, crescimento da demanda, surgimento de novas tecnologias, entrada de novos concorrentes, etc.). A dependência em relação às tomadas de decisões do presente por meio de resultados futuros promove ainda mais o grau de incerteza.

A permanência da empresa em um ambiente concorrencial (sem que haja perdas de parcelas de mercado) está correlacionada à sua respectiva capacidade de aprendizado. Quanto maiores o estoque de conhecimento e as competências gerenciais, mais bem-sucedida será a estratégia da empresa em aumentar lucro sem perdas de mercado. Contudo, as firmas podem incorrer em erros sistemáticos, que derivam do fato de as decisões empresariais estarem num ambiente de incerteza elevado. Há tanto a incerteza decorrente da ausência de informações (*substantive uncertainty*), quanto as limitações do mecanismo de aprendizado dos agentes (*procedural uncertainty*) (DOSI; EGIDI, 1991).<sup>15</sup>

Quanto ao processo de decisão racional dos agentes, a limitação da racionalidade permite conciliar a lógica da racionalidade instrumental com a questão da

15 A racionalidade processual é aquela que se tem (ou se deve ter) numa situação de incerteza processual; porém, a racionalidade substantiva (igual à racionalidade neoclássica, maximizadora de utilidade) não é, necessariamente, a racionalidade própria de uma situação de incerteza substantiva. Conforme Dosi e Egidi (1991), a incerteza substantiva não se restringe à incerteza do tipo neoclássica, podendo incorporar tanto a incerteza fraca (associada a uma função de distribuição de probabilidade) quanto a forte. Para Dequech (2006), numa tentativa de diferenciar tipos de racionalidade e de incerteza, o ambiente de incerteza substantiva pode ser denominado de "incerteza fundamental", termo que distingue a incerteza substantiva da racionalidade neoclássica.

incerteza forte. Em resposta ao grau de incertezas, os agentes são levados a adotar rotinas e regras estáveis de decisão, no intuito de orientar suas ações. As rotinas são representadas por processos relativamente automatizados, cuja utilização tem a capacidade de simplificar as decisões, reduzindo o número de variáveis em questão, bem como o custo de processamento, cálculo e gerenciamento das decisões.

Como apresentado por Oltra (1997), os modelos evolucionários de dinâmica industrial são baseados em regras de decisões adaptativas, sendo estas uma consequência da racionalidade processual dos agentes. As hipóteses de comportamento introduzidas nesses modelos atribuem papel importante às experiências passadas e ao caráter adaptativo do processo decisório, além de levarem em conta a heterogeneidade dos agentes e a capacidade limitada de antecipação e de aprendizado.

As regras de decisões podem se diferir entre os agentes, que não têm a capacidade de previsão e, normalmente, conduzem suas escolhas a resultados subótimos. Dado que o contexto das interações e a intensidade das atividades de pesquisas são não uniformes, uma mesma regra de decisão pode levar a resultados distintos. Por meio de um processo adaptativo, os agentes corrigem suas decisões em função de suas *performances* e experiências passadas. Desta maneira, as decisões estão definidas no tempo e num contexto histórico, e não em termos da antecipação dos resultados. O processo decisório é, portanto, cumulativo e com dependências de caminho.

Para explicar o paradigma evolucionário, de uma maneira mais sistematizada, Nelson e Winter (1982) introduzem as noções de busca (*search*) por inovações, a partir das estratégias empresariais, e de seleção (*selection*) destas mesmas inovações, pelo ambiente de mercado. As empresas competem no intuito de permanecerem e crescerem no mercado. As inovações geram o crescimento e as imitações permitem que firmas continuem no ambiente de competição. Aquelas que falham na busca por inovações ou imitações são excluídas do negócio e, na melhor das situações, perdem a oportunidade de crescer em relação aos demais competidores.<sup>16</sup>

A busca tecnológica tem por objetivo a introdução de inovações, as quais podem alterar as rotinas operacionais, as técnicas e os processos produtivos. Esta mudança

16 A ideia de que a competição de mercado é análoga à competição biológica e que os negócios das empresas devem passar por um teste de sobrevivência imposto pelo mercado tem sido parte do debate da concepção evolutiva da economia. Contudo, a primeira contribuição mais firme do ponto evolucionário remonta o artigo de Alchian (1950), intitulado *Uncertainty, evolution and economic theory*. Embora o uso de analogias biológicas tenha sido bastante significativo na economia, Penrose (1952, p. 819) critica o excesso destes exemplos, concluindo que "(...) Even as a metaphor it is badly chosen although in principle metaphorical illustrations are legitimate and useful. But in seeking the fundamental explanations of economic and social phenomena in human affairs the economist, and the social scientist in general, would be well advised to attack his problems directly and in their own terms rather than indirectly by imposing sweeping biological models upon them".

tecnológica visa a obtenção de vantagens competitivas. A dinâmica competitiva dos mercados pode ser estabelecida pela introdução das inovações, pela difusão das novas técnicas via imitação e por processos de aprendizados (imperfeitos na sua maioria). Diante de uma pressão estabelecida pela dinâmica de competição, as empresas são marcadas pela diversidade, seja em termos de estratégia, de competência ou mesmo de base tecnológica. A diferenciação entre as mesmas altera não apenas a lucratividade como também as participações relativas de mercado.

A seleção constitui um mecanismo que opera na escolha das buscas bem-sucedidas, que obtiveram os resultados esperados. Podem ser selecionadas as melhores técnicas e práticas, bem como eliminadas as piores, seja por obsolescência tecnológica, seja por estratégias não condizentes com aumento da lucratividade e da parcela de mercado. O mecanismo de seleção atua diante de uma unidade de análise, em que se avaliam as variáveis que definem o grau competitivo e a aptidão (*fitness*) empresarial. Normalmente, a empresa é definida como unidade de seleção nos modelos evolucionários, que procuram a compreensão da dinâmica industrial. As habilidades gerenciais, escolhidas em última instância, são mensuradas por vários critérios, entre os quais se destacam a qualidade do produto, o preço, o atraso de entrega, os serviços de pós-vendas, entre outros. O mercado fará uma seleção dos critérios mais bem avaliados e bem-sucedidos, garantindo, desta maneira, a eficiência das empresas mais aptas por uma busca de lucros extraordinários.

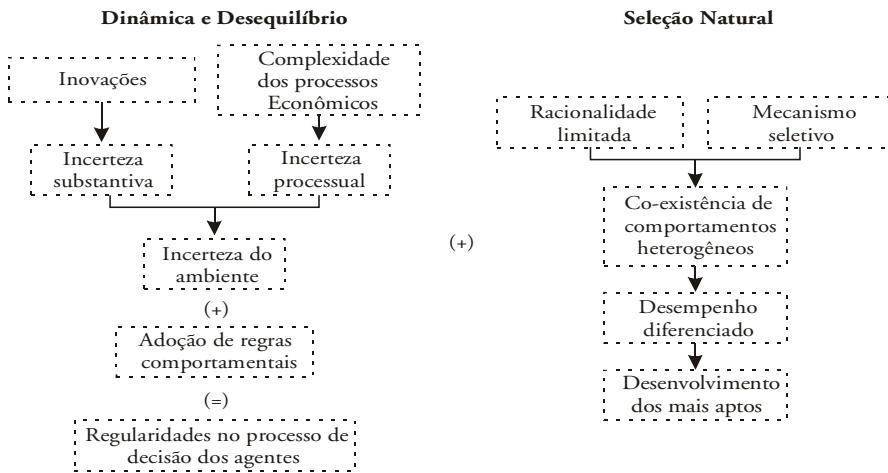
Nem sempre a firma é a unidade de seleção. No trabalho de Vieira Filho, Campos e Ferreira (2005), a unidade selecionada foi definida como a *cadeia produtiva regional*, já que o foco do estudo contemplava uma análise da concentração regional da produção agrícola relacionada às indústrias fornecedoras, às instituições de pesquisa e à unidade produtiva (no caso, as fazendas).<sup>17</sup> De acordo com Essletzbichler e Rigby (2007), a variável regional é elemento fundamental para inserir o debate evolucionário numa perspectiva da geografia econômica.

O paradigma evolucionário é, por assim dizer, a união de um processo dinâmico e em desequilíbrio com um mecanismo seletivo de mercado (Figura 2). A busca por inovações (conjunto de conhecimento tácito e codificado) somada à complexidade dos processos econômicos proporciona um ambiente de elevada incerteza. Além disso, as firmas e os setores industriais são caracterizados por distintos regimes tecnológicos. Uma questão que corrobora com a redução das incertezas processuais e substantivas é o estabelecimento de contratos e regras comportamentais. A minimização do

17 Em Pondé (2000, seção 2.1.2), tem-se uma análise do problema da identificação da unidade de seleção.

ambiente de incertezas, juntamente com a racionalidade limitada, é que cria uma regularidade nos comportamentos dos agentes. Tal regularidade, advinda de um ambiente de desequilíbrio e associada ao mecanismo seletivo, é que determina a co-existência de comportamentos heterogêneos e o desenvolvimento dos mais aptos.

**FIGURA 2**  
Paradigma evolucionário como a união de um processo dinâmico e em desequilíbrio com a seleção natural



Fonte: Vieira Filho (2004).

### 3. Modelo evolucionário de aprendizado agrícola

Discutiu-se, até o presente momento, segundo a corrente evolucionária *a la* Nelson e Winter (1982), a importância que tem o papel da mudança tecnológica no crescimento, além do mecanismo interno de aprendizado. Ademais, como identificado por Chiaromonte, Dosi e Orsenigo (1993), verifica-se de que maneira a adoção influencia as condições da difusão dos novos conhecimentos. Para simular o comportamento agrícola, é preciso tratar tanto da competição tecnológica quanto dos investimentos nas habilidades gerenciais e no aumento de capacidade de absorção, baseando-se na lógica de Cohen e Levinthal (1989).

Para formalizar o modelo matemático, é necessário definir o capital como uma combinação dos vários fatores produtivos (representando um conteúdo tecnológico)



utilizados no processo de produção: máquinas, equipamentos, herbicidas, defensivos, fertilizantes, combustíveis, sementes, entre outros. A hipótese básica pressupõe que a expansão agrícola depende do crescimento do capital, sendo a adoção tecnológica e o estoque de conhecimento dos produtores elementos que aumentam a produtividade agrícola.

No intuito de compreender o setor agrícola, deve-se utilizar um modelo de adoção de novas sementes (ou mesmo um crescimento do conteúdo tecnológico) no processo de produção. Entende-se que a semente é o fator produtivo capaz de alterar o preço relativo dos demais insumos. A relação econômica produtiva das sementes e dos demais fatores produtivos é ponto central para a compreensão do caso agrícola. Quanto maior for o gasto em investimento (inovação ou imitação), maior será a capacidade de absorção de conhecimento externo e, conseqüentemente, mais eficiente o aprendizado, o que se relaciona com menores custos produtivos e maiores produtividades.

A habilidade do agricultor em explorar o conhecimento externo é um componente crítico no reconhecimento do valor de uma nova informação, que pode ser assimilada e aplicada de diferentes formas na produção. Sementes mais modernas possuem custo e grau tecnológico mais elevados, quando comparadas às tradicionais. As novas sementes podem gerar um efeito de economia no uso de outros fatores produtivos, como, por exemplo, redução de combustíveis e menor uso de herbicidas. Desta maneira, a produtividade associada à semente moderna será mais elevada e, se a nova informação for bem utilizada, ter-se-á menor dispêndio de recursos financeiros nos outros fatores produtivos.<sup>18</sup>

A dinâmica agrícola e a diferenciação dos agentes são obtidas por meio de uma competição por maior eficiência econômica. A inovação tecnológica vinda do uso de uma nova semente pode gerar redução de custos e aumento de produtividade.

18 Em estudo realizado por Bragagnolo et al. (2007), numa análise de custos comparativos da produção da soja transgênica (RR) e da convencional, no Estado do Paraná, encontraram-se custos menores de produção para a soja transgênica se comparados aos da soja convencional. A estimativa de redução do custo total do plantio transgênico ficou em torno de 3,7%. Embora o custo da semente transgênica (taxa tecnológica) tenha sido mais elevado (ao redor de 29%), ocorreu diminuição de 7,9% nas despesas com utilização de máquinas e equipamentos e de 8,1% no consumo de combustível. Além disso, tem-se um decréscimo das aplicações de herbicidas no plantio de transgênicos, sendo seu gasto reduzido em torno de 48%, quando comparado à soja convencional. Vale lembrar que estes resultados se diferenciam no âmbito regional, no aspecto microeconômico e na unidade produtiva. Pelo trabalho de Trigo et al. (2002), foram mostradas as principais mudanças da produção agrícola argentina, após a introdução do plantio de sementes transgênicas a partir de 1996. Explicou-se que a adoção de tecnologia externa, particularmente pela sua boa adequação às especificidades regionais da Argentina, contribuiu favoravelmente com o crescimento agrícola, sem danos ambientais de qualquer natureza. De acordo com Evenson (2003), a revolução genética tem ajudado a aumentar a produtividade agrícola em geral e o uso de organismos geneticamente modificados é uma forma de países em desenvolvimento se beneficiarem de uma segunda revolução verde.

A adoção de uma nova semente aumenta as chances de obter um sucesso inovativo (redução de custos e aumento de produtividade). Entretanto, o comportamento da produtividade *versus* os custos depende da capacidade de absorção do conhecimento externo e do aprendizado de cada produtor. Diferentes agricultores possuem distintas habilidades de aprendizado e de gerenciamento da tecnologia de forma mais eficiente.

Assim, o grau de redução de custos e de aumento de produtividade, diante das habilidades gerenciais dos agricultores, é o principal fato estilizado que será apresentado no modelo evolucionário de aprendizado agrícola, aqui denominado de MEA. Seria difícil prever qualquer comportamento da produtividade e dos custos de produção, já que os agricultores possuem distintas capacidades de aprendizado e diversas formas de processamento da informação. A adoção de novas sementes não é garantia de resultado bem-sucedido em termos de análise custo-benefício.

O MEA procura explicar, dentro de um processo de aprendizado, o comportamento entre a produtividade, os custos e a capacidade de absorção de cada agricultor. No que tange ao processo de aprendizado, a capacidade de absorção aumenta em ordem crescente entre os agentes imitadores para os inovadores. O investimento em aprendizado busca aumentar a capacidade de absorção e, conseqüentemente, a captação de conhecimento externo. O modelo é subdividido em três partes: produtividade; custos; e lucros. As três partes são especificadas por área produzida ou unidade de terra (no caso, por hectares).

### ***Produtividade***

De acordo com a equação abaixo, a produtividade por área plantada do produtor agrícola ( $A_{it}$ ) depende do parâmetro ( $\alpha_i$ ) e da variável produtividade final ( $A_{if}$ ). De um lado, o parâmetro  $\alpha_i$  representa a velocidade do aprendizado: quanto menor for este parâmetro, mais rápido será o aprendizado ao longo do tempo e, portanto, maior a produtividade alcançada em um dado período do tempo. De outro, o limite final do crescimento ou decréscimo da produtividade é determinado pelo comportamento do conhecimento de cada agricultor.<sup>19</sup>

$$A_{it} = \alpha_i \cdot A_{it-1} + (1 - \alpha_i) A_{if} + u \quad (1)$$

De outra maneira,  $\alpha_i$  é um parâmetro de velocidade da assimilação do conhecimento tecnológico, sendo que o valor calculado da produtividade no período

19 Numa comparação com o modelo de difusão de Griliches (1957), vale observar que tanto a velocidade do aprendizado quanto a definição da produtividade final variam ao longo do tempo e, neste sentido, influenciam os parâmetros estáticos da função logística do milho híbrido. Em outras palavras, a dinâmica da adoção, no âmbito do produtor agrícola, altera os parâmetros da difusão tecnológica.

final é função do acúmulo de conhecimento e mudança tecnológica. Além disso, a produtividade pode ser alterada por um fator aleatório ( $u$ ), que representa uma mudança não esperada ou exógena ao modelo. Estas variações exógenas são dadas por mudanças climáticas, pragas ou qualquer outra alteração não explicada.

A equação seguinte identifica a magnitude do crescimento ou decréscimo da produtividade. Será o valor de  $A_{if}$  que determinará o limite da produtividade do produtor agrícola no período final da simulação. Para tanto, ter-se-á um parâmetro ( $\chi_i$ ) multiplicado pelo grau de conhecimento tecnológico ( $T_i$ ) e somado à produtividade inicial no tempo zero ( $A_{i0}$ ) de cada agricultor.

$$A_{if} = \chi_i \cdot T_i + A_{i0} \quad (2)$$

O grau de conhecimento tecnológico, como apresentado a seguir, é determinado pela taxa de crescimento do estoque de conhecimento ( $Z_{it}$ ) comparada à média do mercado. A taxa de crescimento do estoque de conhecimento é dada pela variação do estoque de conhecimento entre o período presente e o anterior, sendo a derivada no tempo do estoque de conhecimento dada por;  $z_{it}^{\bullet} = \frac{\partial Z_{it}}{\partial t} = \frac{\Delta Z_{it}}{Z_{it}} = \frac{(Z_{it} - Z_{it-1})}{Z_{it-1}}$ .

$$T_i = \frac{z_i^{\bullet} - \bar{z}^{\bullet}}{z^{\bullet}} \quad (3)$$

Logo em seguida, apresenta-se o estoque de conhecimento ( $Z_i$ ) como sendo função do investimento do agricultor ( $I_i$ ), da sua respectiva capacidade de absorção ( $\gamma_i$ ), do efeito de transbordamento do mercado ou *spillover* ( $\theta$ ), do total de investimento realizado pelos outros produtores agrícolas ( $\sum_{j \neq i} I_j$ ) e do conhecimento externo ( $E$ ).

$$Z_i = I_i + \gamma_i \left( \theta \sum_{j \neq i} I_j + E \right) \quad (4)$$

A capacidade de absorção e o efeito de transbordamento assumem valores compreendidos entre zero e um. Quanto maior for a capacidade de absorção, maior será a habilidade do agricultor em apropriar-se do conhecimento oriundo dos investimentos dos demais produtores e mais eficiente ficará o uso do conhecimento externo. Quanto maior for o valor do efeito transbordamento, será maior a interação entre os agentes e mais fácil a difusão do conhecimento em rede.

Conforme a equação subsequente, a capacidade de absorção futura ( $\gamma_{it+1}$ ) é função da capacidade de absorção passada ( $\gamma_{it}$ ), do investimento realizado ( $I_{it}$ ), de um parâmetro ( $\beta$ ) que especifica a complexidade do conhecimento assimilado<sup>20</sup> e da depreciação da capacidade de absorção ( $\sigma$ ).

$$\gamma_{it+1} = f(\gamma_{it}, I_{it}; \beta, \sigma) \quad (5)$$

Entretanto, dependendo das estratégias de investimentos dos agentes (inovadoras e imitadoras), tem-se um comportamento distinto para o crescimento da capacidade de absorção (Tabela 1). No caso de um sucesso inovador, a capacidade de absorção apresentará sempre um crescimento na magnitude de  $[\beta \cdot (I_{it})^{-1/2}]$ , já que este agente não sentirá o efeito da depreciação. No outro extremo, se não houver sucesso inovador, a capacidade de absorção poderá crescer ou diminuir, dependendo do impacto da depreciação no tocante à magnitude do crescimento.

**TABELA 1**

Comportamento da capacidade de absorção do agricultor inovador e imitador

Performance	Tipo de agente	
	Imitador	Inovador
Sucesso	$\gamma_{it+1} = \max(\gamma_{it}, \gamma_t^-)$	$\gamma_{it+1} = \gamma_t + \frac{\beta}{\sqrt{I_{it}}}$
Não sucesso	$\gamma'_{it+1} = \min\left(\gamma_{it}, \gamma_t + \frac{\beta}{\sqrt{I_{it}}} - \sigma\right)$	$\gamma_{it+1} = \gamma_t + \frac{\beta}{\sqrt{I_{it}}} - \sigma$

Fonte: Elaboração dos autores.

20 O parâmetro  $\beta$  aqui especificado tem comportamento inverso ao do modelo de Cohen e Levinthal (1989). Quanto maior for  $\beta$ , mais codificado será o conhecimento e menor o custo por unidade de conhecimento, sendo maior o impacto na capacidade de absorção para um dado investimento. Quanto menor for  $\beta$ , menos codificado será o conhecimento e, contrariamente, maior ficará o custo por unidade de conhecimento. Para um conhecimento menos codificado, menor será o crescimento da capacidade de absorção para um mesmo dado de investimento.

Ao analisar o comportamento do agente imitador, um sucesso significa atingir o máximo entre a capacidade de absorção passada e a média da capacidade de absorção do mercado, de modo que o agente se beneficia por ser bem-sucedido. Caso haja um insucesso, a capacidade de absorção será dada pelo mínimo (penalização por não ser bem-sucedido) entre o valor passado e o cálculo com a inclusão da depreciação. Vale ressaltar que a probabilidade de sucesso, tanto na estratégia inovadora quanto na imitadora, é definida pela parcela do investimento dada por

$$Pr = \frac{I_i}{\sum_{i=1}^n I_i} .$$

### **Custos**

Como se mostra, o custo do produtor ( $C_{it}$ ) é a soma do custo operacional ( $CO_i$ ) mais o volume do investimento no período. O custo operacional é constante e determinado pelos custos administrativos, gastos com mão de obra, insumos e despesas financeiras. É importante lembrar que a capacidade de absorção de cada agente pode reduzir parte do custo operacional. O parâmetro ( $\psi_i$ ) varia entre zero e um e determina o percentual a ser diminuído nos custos operacionais. Quanto maior for a capacidade de absorção, maior será o desconto no custo operacional e, conseqüentemente, nos custos finais.

$$C_{it} = CO_i \cdot [1 - (\psi_i \cdot \gamma_{it})] + I_{it} \quad (6)$$

Assim, a capacidade de absorção de cada agente pode influenciar não somente na assimilação de conhecimento externo, como também na redução dos custos finais de produção a cada momento.

### **Lucros**

Por fim, definem-se os lucros (equação 7) e o volume do investimento futuro (equação 8). Na primeira equação, a receita por unidade de terra é dada pela multiplicação entre o preço ( $P$ ) e a produtividade. O diferencial entre a receita e os custos determina o lucro do produtor.

$$\pi_{it} = P \cdot A_{it} - C_{it} \quad (7)$$

Na segunda, o volume do investimento futuro é determinado por uma taxa ( $r$ ) multiplicada pela receita por área plantada.

$$I_{it+1} = r \cdot (P \cdot A_{it}) \quad (8)$$

Após a apresentação das equações, no que se refere à programação do MEA, faz-se o uso do *software Laboratory for Simulation Development* (LSD), desenvolvido por Valente (1999). Serão feitas algumas análises de tendências sobre quais seriam os principais fatos estilizados, ou mesmo as características econômicas que permaneceriam válidas na agricultura.

Embora as trajetórias de longo prazo estejam imersas em um mundo não-ergódico, dependentes de decisões empresariais e de aspectos cumulativos da dinâmica do progresso técnico e do aprendizado, é possível identificar alguma regularidade que possa reduzir a incerteza e direcionar as decisões de longo prazo. Mediante alguns parâmetros iniciais adotados de forma *ad hoc*,<sup>21</sup> foram obtidas trajetórias por simulação de um processo de competição entre produtores agrícolas de uma atividade específica.

Para o caso agrícola, a discussão estabelece uma comparação competitiva entre os agricultores de uma mesma atividade localizados em distintas regiões. Quando não houver complementaridade tecnológica entre as culturas, os produtores agrícolas competirão no mercado por fatores produtivos, pela absorção de uma dada tecnologia e por recursos financeiros, captação e alocação de investimentos.

#### 4. Análise e discussão dos resultados

Foram realizadas algumas simulações para investigar o comportamento da dinâmica competitiva do mercado agrícola e das variáveis e parâmetros especificados no modelo evolucionário de aprendizado. Por ser um primeiro estudo, os resultados aqui apresentados são preliminares e bastante gerais em termos do que pode ser oferecido. A análise e a interpretação das simulações procuram construir uma representação gráfica das trajetórias observadas da produtividade, dos custos, dos investimentos, do estoque de conhecimento e da capacidade de absorção.

Nesse sentido, é possível fazer inferência em relação ao comportamento econômico da agricultura. Por meio dos resultados, podem-se não só comparar as estratégias dos agricultores e seus resultados, mas também inferir questões relativas ao desenvolvimento local, distribuído em regiões dinâmicas (mais favorecidas em pesquisa e desenvolvimento) e em regiões passivas (menos favorecidas em termos de investimentos). Este tipo de análise só é possível porque a célula do investimento,

21 Para tal pesquisa, foi realizado um tipo de *educated guess*, a fim de determinar as características estruturais do sistema (ver Apêndice).

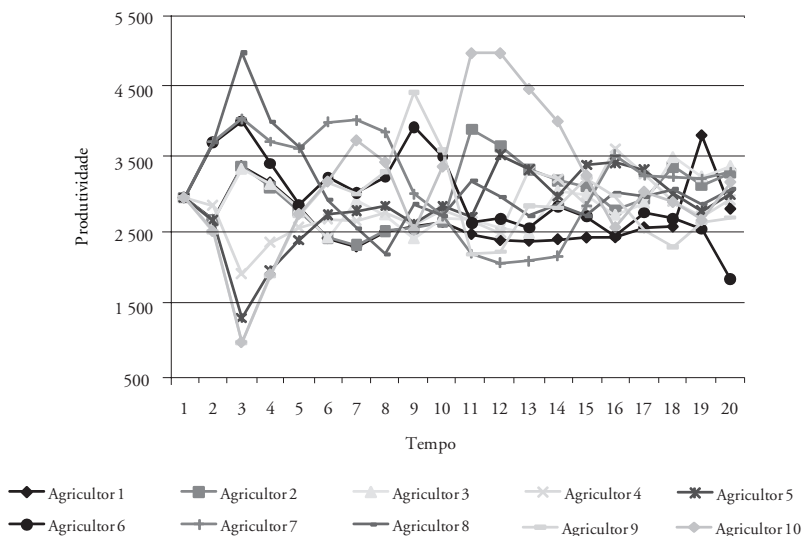
no caso os agricultores, é implementada em um ambiente localizado e, portanto, está associada a certa região no espaço geográfico.

Para tanto, pressupõe-se que os produtores são divididos em dois grupos, que se diferenciam apenas na busca por inovação tecnológica (ou aumento da capacidade de absorção). Quanto à estratégia seguidora, os produtores de 1 a 5 foram definidos como imitadores. Já os agricultores de 6 a 10 foram considerados inovadores, por adotarem uma estratégia mais agressiva em gastos com investimento. São os dispêndios temporais em inovação e imitação que diferenciam os dois grupos e influenciam, por sua vez, a probabilidade de se obter sucesso em cada uma das estratégias.

De acordo com o Gráfico 1, os agricultores inovadores obtiveram, no geral, os melhores resultados em termos de produtividade por área plantada ao longo do tempo, enquanto os imitadores apresentaram menores produtividades. Assim, ao se comparar com o Gráfico 2, percebe-se que o esforço em realizar investimento, mesmo com uma elevação dos custos produtivos, compensa os resultados de longo prazo. No curto prazo, alguns agentes imitadores são mais bem posicionados, já que estratégias bem-sucedidas de imitação levam a resultados também compensadores, mas nunca de vanguarda tecnológica.

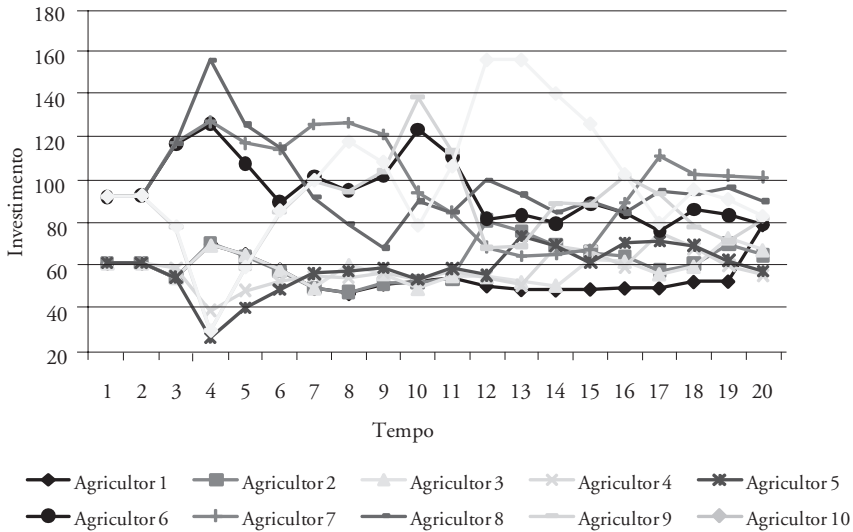
**GRÁFICO 1**

Produtividade parcial da terra (quantidade produzida por área) ao longo do tempo



Fonte: Elaboração dos autores.

**GRÁFICO 2**  
Investimento por agricultor em área plantada ao longo do tempo



Fonte: Elaboração dos autores.

Ao se compararem os custos médios entre os produtores (Gráfico 3), nota-se que, em média, os inovadores possuem gasto maior do que os imitadores. Este resultado, como mostrado anteriormente, é muito influenciado pelo volume de investimento realizado na produção. Embora o custo seja mais elevado, o desempenho produtivo fica condicionado ao sucesso ou não das buscas inovadoras. Além disso, com o acúmulo de conhecimento, tem-se uma redução do custo médio relativo aos inovadores ao longo do tempo.

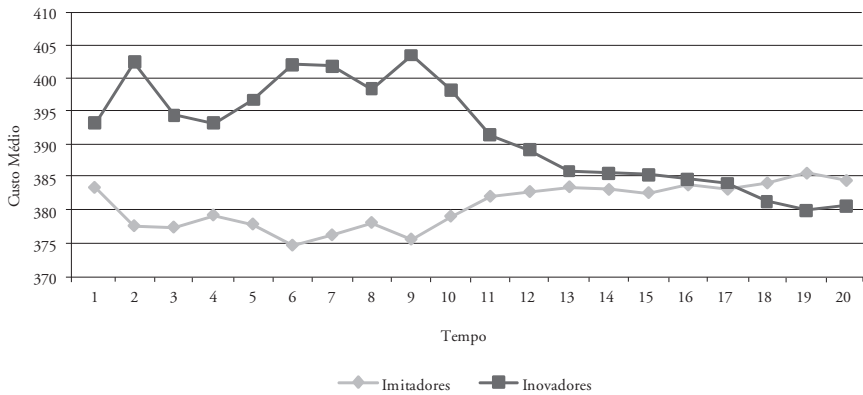
O Gráfico 4 apresenta a evolução da capacidade de absorção dos produtores. Como esperado, a posição favorável em termos de captação de conhecimentos externos é liderada pelos agricultores inovadores, mesmo que tenham alguns com capacidade de absorção não condizente com os investimentos realizados (no caso, os agricultores 9 e 10 na retaguarda nos anos iniciais). A tendência é ascendente ao longo do período, porém, o crescimento depende de uma estratégia bem-sucedida. No tocante aos produtores imitadores, o *catching up* de capacidade de absorção se dá por degraus (efeito de aprendizado *learning by doing*) e algumas quedas (relativas à depreciação).

O produtor inovador realiza mais investimentos em capacidade de absorção e, por isso, mantém-se na dianteira em termos de captação de conhecimentos externos.



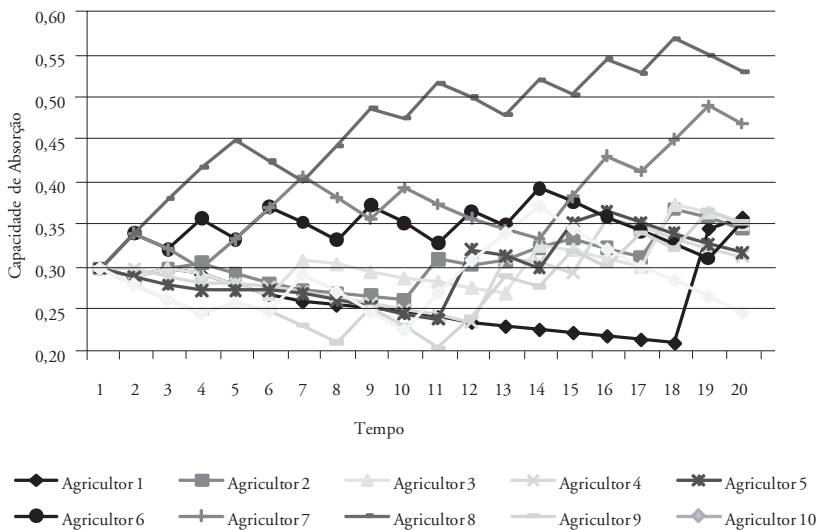
Já o imitador, se bem-sucedido, alcança a média da capacidade de absorção do mercado, estando no geral atrás dos inovadores em termos de atualização das informações. Nota-se que o agricultor 3 é um imitador bem-sucedido para alguns períodos.

**GRÁFICO 3**  
Custo médio por agricultores imitadores e inovadores em área plantada ao longo do tempo



Fonte: Elaboração dos autores.

**GRÁFICO 4**  
Capacidade de absorção por agricultor em área plantada ao longo do tempo

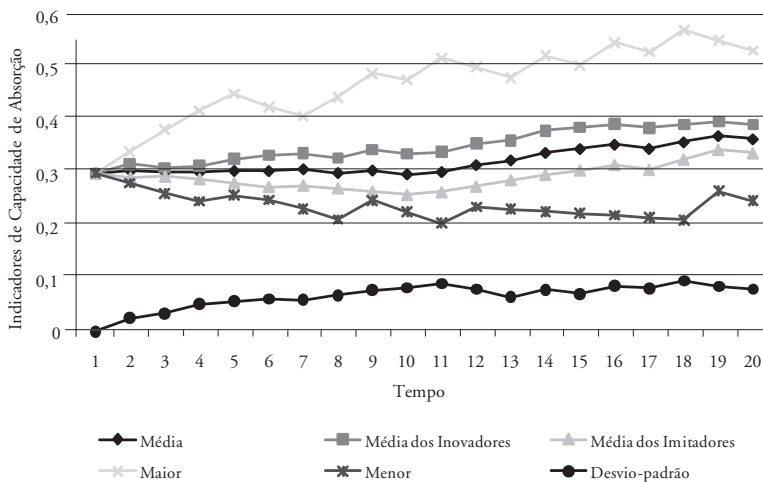


Fonte: Elaboração dos autores.

Por meio da evolução da produtividade, não fica claro que a busca inovativa traga ganhos significativos aos agricultores inovadores. De qualquer forma, este processo será mais abrupto se for considerado o fato de que agricultores mais produtivos (ou sábios) tenham maiores áreas de produção. Nesse sentido, de acordo com o Gráfico 5, tem-se uma comparação da média da capacidade de absorção entre os agentes inovadores e imitadores, bem como a trajetória do desvio-padrão ao longo do tempo. O que fica nítido é que a dispersão se estabiliza com o tempo e, portanto, percebe-se que o fato estilizado nesta situação é que alguns produtores se beneficiam mais do que outros, que são marginalizados do processo de produção e absorção de conhecimento tecnológico.

**GRÁFICO 5**

Capacidade média de absorção por agricultores inovadores e imitadores, comparada com a amplitude e o desvio-padrão em área plantada ao longo do tempo



Fonte: Elaboração dos autores.

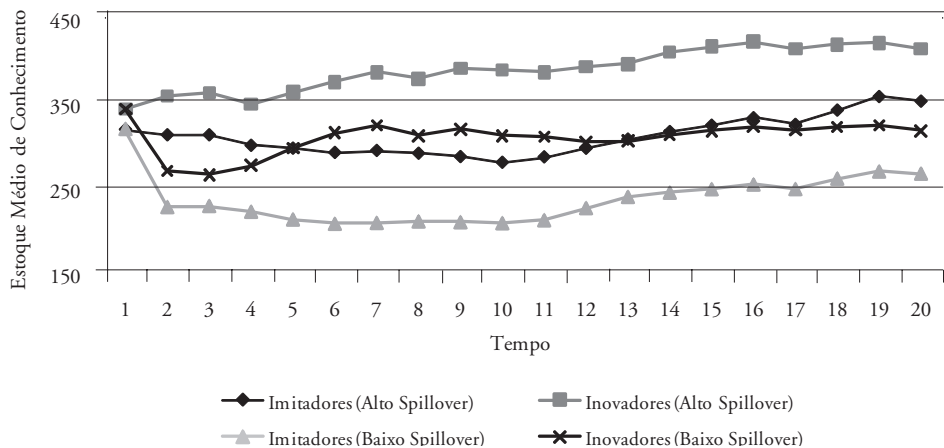
Além da diferença no comportamento dos produtores (inovadores e imitadores), foram estudados o impacto do aumento dos efeitos de transbordamentos do conhecimento na economia (alto e baixo  $\theta$  - *spillovers*) e o grau da natureza do conhecimento (codificado ou tácito) no desempenho produtivo. Pelo Gráfico 6, percebe-se que, numa economia com elevado efeito de transbordamento e, conseqüentemente, difusão mais fácil dos conhecimentos (maiores os *spillovers*),

o estoque de conhecimento é mais elevado. Caso contrário, quando a difusão do conhecimento é mais lenta (baixo *spillover*), a acumulação de conhecimento é menor entre os produtores.

Isto pode significar que regiões com menor grau de comunicação entre os agentes produtivos, ou seja, com baixo efeito de transbordamento, podem alcançar as regiões cujos arranjos produtivos são mais estruturados, desde que o comportamento dos produtores seja de caráter inovador. A inovação tecnológica permite a competição de regiões ou produtores menos favorecidos pelos efeitos de transbordamentos. Nesse sentido, os agentes inovadores com baixo *spillover* competem em condições com os agentes imitadores com alto *spillover*.

GRÁFICO 6

Estoque médio de conhecimento em relação ao grau de *spillovers* por agricultores imitadores e inovadores em área plantada ao longo do tempo

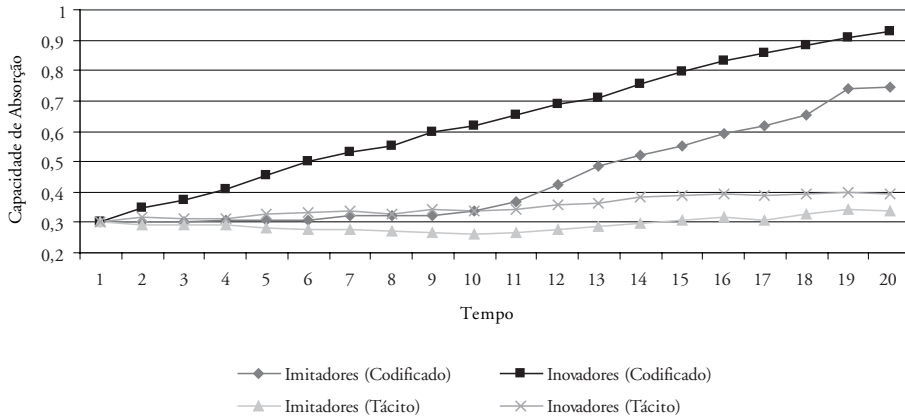


Fonte: Elaboração dos autores.

No que se refere à natureza do conhecimento, conforme o Gráfico 7, o aumento da capacidade de absorção é mais acentuado na incorporação do conhecimento codificado, já que este é mais amplo e genérico e depende dos conhecimentos básicos da ciência. Quanto ao conhecimento tácito, tem-se um crescimento mais lento da capacidade de absorção, tanto entre os produtores inovadores como para os imitadores. Verifica-se tal constatação, já que a difusão do conhecimento tácito é mais custosa e, portanto, para um maior crescimento da capacidade de absorção, será necessário maior esforço em investimentos.

GRÁFICO 7

Capacidade de absorção média em relação à natureza do conhecimento (codificado e tácito) por agricultores imitadores e inovadores em área plantada ao longo do tempo



Fonte: Elaboração dos autores.

A evolução da produção agrícola é vista como um processo ininterrupto de introdução e difusão de novos conhecimentos no “espaço econômico”, no qual os produtores competem por buscas de lucros extraordinários. Os efeitos sociais e econômicos da modernização agrícola, apesar de permitirem relativo progresso, têm trazido efeitos assimétricos nas sociedades rurais, em nível de renda e produtividade dos produtores tradicionais, em comparação com a moderna agricultura industrial, o que é fruto de uma maior competição pelos insumos tecnológicos e informações. Embora as decisões microeconômicas sejam importantes na diferenciação dos produtores em termos de capacidade de absorção, o caráter institucional é de extrema importância para viabilizar o desenvolvimento de um moderno setor agrícola, já que a oferta das tecnologias depende do fomento da pesquisa pública e de uma estratégia de seleção localizada da inovação.

## 5. Conclusões

O presente estudo procurou discutir de que forma a capacidade de absorção de conhecimentos externos e o processo de aprendizado dos produtores agrícolas influenciam no comportamento da mudança tecnológica e nos ganhos produtivos, sabendo-se que as transformações tecnológicas são fundamentais no entendimento do desenvolvimento agrícola. Por meio de tal discussão, foi possível responder à

questão: qual a forma mais adequada de se tratar a dinâmica do setor agrícola e seus efeitos de transbordamento?

No intuito de encontrar tal resposta, a linha de raciocínio foi dividida em três blocos: marco teórico, método de análise e simulações. O primeiro buscou o aprofundamento do referencial teórico e conceitual. O segundo inseriu o debate agrícola na abordagem evolucionária, com a apresentação de um modelo evolucionário de aprendizado (MEA). Por fim, foram realizadas algumas simulações. Esta estrutura permitiu fazer a ponte da teoria evolucionária e o caso agrícola.

Algumas lições podem ser retiradas tanto da parte teórica quanto da aplicada. Em termos teóricos, a agricultura deve ser compreendida por meio de duas características básicas: a primeira refere-se à competição e a segunda está associada ao papel do investimento agrícola na produção. Os agricultores competem por uma melhor e mais eficiente combinação de insumos produtivos, a ponto de adquirir vantagens comparativas dinâmicas. O investimento, por sua vez, gera novos produtos ou inovações tecnológicas, mas fundamentalmente, no caso agrícola, aumentos na capacidade de absorção de conhecimento externo.

Quanto ao lado aplicado, o progresso técnico é originado no segmento fornecedor. Mesmo assim, o agricultor é capaz de promover discontinuidades tecnológicas que impactam toda a cadeia produtiva. As habilidades gerenciais são construídas para explorar e captar novas informações. Portanto, o processo de adoção tecnológica condiciona os parâmetros da difusão, e não o contrário. O setor agrícola pode ampliar as oportunidades tecnológicas dos provedores de insumos modernos. O efeito de ação e reação em cadeia proporciona crescimento em nichos tecnológicos, estabelecendo caminhos e trajetórias bem definidas.

Ao se explorar a literatura, percebe-se que a concepção de uma agricultura *dominada pelos fornecedores* é insuficiente para explicar os complexos arranjos produtivos de ciência e tecnologia voltados ao crescimento agrícola. Aumentar a produtividade da agricultura não é simplesmente ajustar os parâmetros da difusão, já que estes são influenciados pela dinâmica produtiva. O processo de modernização agrícola não pode ser visto inserido numa lógica de setor retardatário, em que o progresso técnico deteriora a renda do agricultor. No que se refere à inovação induzida, a substituição técnica entre os insumos produtivos é mais complexa do que uma simples alternância dos preços relativos.

A indução tecnológica associa-se aos elementos *schumpeterianos* de análise e às mudanças institucionais. A agricultura não pode ser considerada um segmento marginal, sem a inclusão da dinâmica como um todo. A mudança tecnológica

dentro da agricultura é um fenômeno econômico que compreende os processos de aprendizagem, geração de conhecimento e difusão.

A diferenciação dos produtores é obtida por uma competição tecnológica que visa reduzir custos e aumentar produtividade. Não obstante, considerando-se a existência prévia de um ambiente institucional promotor do desenvolvimento, a magnitude do descolamento do custo e da produtividade depende da capacidade de absorção e do aprendizado de cada agricultor, que são classificados em imitadores (ou seguidores) e inovadores.

Os resultados preliminares mostraram que os produtores inovadores, em média, mantêm posições de vanguarda tecnológica. O aumento da capacidade de absorção auxilia nos ganhos produtivos e nas quedas dos custos. Além disso, numa economia com elevados efeitos de transbordamento, inovadores e imitadores acumulam mais conhecimento do que numa situação de baixo *spillover*. Em relação à natureza do conhecimento, o aumento da capacidade de absorção é mais acentuado na incorporação do conhecimento codificado, já que este é mais amplo e genérico e depende dos conhecimentos básicos da ciência.

Além de levar em conta as suas limitações, acredita-se que o conjunto deste trabalho tenha cumprido a missão de sinalizar de que maneira compreender a dinâmica agrícola. A mudança tecnológica é essencial para compreensão da agricultura e para explicar, por exemplo, como regiões se modernizam mais do que outras. Além disso, a adoção tecnológica via capacidade de absorção e aprendizagem localizada é uma das formas de tratamento adequado da dinâmica do setor agrícola. Este estudo abre também perspectivas para uma investigação mais aprofundada nas áreas de redes sociais e externalidades, uma linha de pensamento na literatura do desenvolvimento e crescimento agrícola pouco explorada na economia evolucionária.

## Referências bibliográficas

AGRIANUAL – Anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP, 2004.

ALCHIAN, A. A. Uncertainty, evolution, and economic theory. *Journal of Political Economy*, v. 58, p. 211-221, June 1950.

ALCHIAN, A. A.; DEMSETZ, H. Production, information costs, and economic organization. *The American Economic Review*, v. 62, n. 5, p. 777-795, Dec. 1972.

ARTHUR, W. B. Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. *The Economic Journal*, v. 99, n. 394, p. 116-131, Mar. 1989.

BAUMOL, W. J. ; WOLFF, E. N. Les dynamiques de déséquilibre et le mécanisme de croissance de la productivité: les implications quant au rôle de la rationalité limitée. *Revue économique*, v. 46, n. 6, p. 1391-1404, nov. 1995.

BRAGAGNOLO, C.; MAFIOTTI, R. L.; SBRISIA, G. F.; TURRA, F. E. Análise dos custos de produção da soja no Paraná: convencional x transgênica (RR). In: CONGRESSO DA SOBER, 45, 2007, Londrina. *Anais...* Londrina: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2007.

BRESCHI, S.; MALERBA, F.; ORSENIGO, L. Technological regimes and schumpeterian patterns of innovation. *The Economic Journal*, v. 110, p. 388-410, Apr. 2000.

CERQUEIRA, H. E. da G. *Economia evolucionista: um capítulo sistêmico da teoria econômica?* Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 2000 (Texto para Discussão, 150).

CHIAROMONTE, F.; DOSI, G.; ORSENIGO, L. Innovative learning and institutions in the process of development: on the microfoundation of growth regimes. In: THOMSON, R (Org.). *Learning and technological change*. UK: Macmillan Press, 1993, p. 117-149.

COHEN, W. M.; LEVINTHAL, D. A. Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, v. 35, p. 128-152, Mar. 1990.

\_\_\_\_\_. Innovation and learning: the two faces of R&D. *The Economic Journal*, v. 99, p. 569-596, Set. 1989.

DAVID, P. A. Clio and the economics of QUERTY. *The American Economic Review*, v. 75, n. 2, p. 332-337, May 1985.

DENISON, E. F. The unimportance of the embodied question. *The American Economic Review*, v. 54, n. 2, p. 90-93, Mar. 1964.

DEQUECH, D. The new institutional economics and the theory of behaviour under uncertainty. *Journal of Economic Behavior and Organization*, v. 59, p. 109-131, 2006.

DOPFER, K. Evolutionary economics: a theoretical framework. In: DOPFER, K. *The evolutionary foundations of economics..* United Kingdom: Cambridge University Press, 2005, Cap.1, p.3-55.

DOSI, G.; EGIDI, M. Substantive and procedural uncertainty: an exploration of economic behaviours in changing environments. *Journal of Evolutionary Economics*, n. 1, p. 145-168, Apr. 1991.

DOSI, G. Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. *Journal of Economic Literature*, v. 26, p. 1120-1171, Set. 1988.

\_\_\_\_\_. *Technical change and industrial transformation*. New York: St. Martin's Press, 1984.

\_\_\_\_\_. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, v. 11, p. 147-162, 1982.

ERICSON, R.; PAKES, A. Markov-perfect industry dynamics: a framework for empirical work. *Review of Economic Studies*, v. 62, p. 53-82, 1995.

ESSELETZBICHLER, J.; RIGBY, D. L. Exploring evolutionary economic geographies. *Journal of Economic Geography*, v. 7, p. 549-571, June 2007.

EVENSON, R. E. *GMO's: prospects for increased crop productivity in developing countries*. New Haven: Yale University, 2003 (Texto para Discussão, 878).

FORAY, D. Les modèles de compétition technologique: une revue de la littérature. *Revue d'Économie Industrielle*, n. 48, p. 16-34, avril 1989.

GRILICHES, Z. Hybrid corn: an exploration in the economics of technological change. *Econometrica*, v. 25, n. 4, p. 501-522, Oct. 1957.

GROSSMAN, G. M.; HELPMAN, E. Endogenous innovation in the theory of growth. *Journal of Economic Perspectives*, v. 8, n. 1, p. 23-44, Dec. 1994.

IWAI, K. *Schumpeterian dynamics: I – an evolutionary model of innovation and imitation*. New Haven: Yale University, 1981a (Texto para Discussão, 602).

\_\_\_\_\_. *Schumpeterian dynamics: II – technological progress, firm growth and “economic selection”*. New Haven: Yale University, 1981b (Texto para Discussão, 603).

JORGENSON, D. W.; GRILICHES, Z. The explanation of productivity change. *The Review of Economic Studies*, v. 34, n. 3, p. 249-283, July 1967.

LANE, D. A. Artificial worlds and economics, part I. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 3, p. 89-107, 1993a.

\_\_\_\_\_. Artificial worlds and economics, part II. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 3, p. 177-197, 1993b.

LANGLOIS, R. N.; EVERETT, M. J. What is evolutionary economics? In: MAGNUSSON, Lars. *Evolutionary and neo-schumpeterian approaches to economics*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994, cap. 2, p. 11-47.

LLERENA, P.; OLTRA, V. Diversity of innovative strategy as a source of technological performance. *Structural Change and Economic Dynamics*, v. 13, p. 179-201, 2002.

MAIWALD, P. Outline of the state of the innovation theory. In: GRUPP, H. *Foundations of the economics of innovation: theory, measurement and practice*. United Kingdom: Edward Elgar, 1998, Cap. 2, p. 48-96.



- MALERBA, F.; ORSENIGO, L. Schumpeterian patterns of innovation are technology-specific. *Research Policy*, v. 25, p. 451-478, 1996.
- MANKIW, G.; ROMER, D.; WEIL, D. N. A contribution to the empirics of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, v. 107, n. 2, p.407-437, May 1992.
- METCALFE, J. S. *Evolutionary economics and creative destruction*. 3. ed. London: Routledge, 2002.
- MOWERY, D. C.; ROSENBERG, N. *Trajetórias da inovação: a mudança tecnológica nos Estados Unidos da América no século XX*. Tradução de Marcelo Knobel. Campinas: Unicamp, 2005.
- NELSON, R. R.; WINTER, S. *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1982.
- OLTRA, V. *Politiques technologiques et dynamique industrielle*. Tese (Doctorat ès Sciences Economiques) – Faculte dès Sciences Economiques et de Gestion, Université Louis Pasteur Strasbourg I, Strasbourg, 1997.
- PAVITT, K. Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. *Research Policy*, v. 13, p.3 43-373, Jan. 1984.
- PENROSE, E. T. Biological analogies in the theory of the firm. *The American Economic Review*, v. 42, n. 5, p. 804-819, Dec. 1952.
- PONDÉ, J. L. de S. *Processos de seleção, custos de transação e a evolução das instituições empresariais*. Tese (Doutorado) – Unicamp, São Paulo, 2000.
- POSSAS, M. L. Elementos para uma integração micro-macrodinâmica na teoria do desenvolvimento econômico. *Revista Brasileira de Inovação*, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p.123-149, jan./jun. 2002.
- SAHAL, D. *Patterns of technological innovation*. New York: Addison-Wesley, 1981a
- \_\_\_\_\_. Technological guideposts and innovation avenues. *Research Policy*, v. 14, p. 61-82, 1985.
- \_\_\_\_\_. The farm tractor and the nature of technological innovation. *Research Policy*, v. 10, p. 368-402, 1981b.
- SCHUMPETER, J. A. *Capitalismo, socialismo y democracia*. Buenos Aires: Claridad, 1946.
- \_\_\_\_\_. The creative response in economic history. *The Journal of Economic History*, v. 7, n .2, p. 149-159, Nov. 1947.

SILVERBERG, G.; DOSI, G.; ORSENIGO, L. Innovation, diversity and diffusion: a self-organisation model. *The Economic Journal*, v. 98, p. 1032-1054, Dec. 1988.

SIMON, H. A. *Bounded rationality*. London: MIT Press, 1987.

\_\_\_\_\_. From substantive to procedural rationality. In: HAHN, F.; HOLLIS, M. (Orgs.). *Philosophy and economic theory*. London: Oxford University Press, 1979.

SOLOW, R. M. A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, v. 70, n. 1, p. 65-94, Feb. 1956.

\_\_\_\_\_. Technical change and the aggregate production function. *Review of Economics and Statistics*, v. 39, p. 312-320, 1957.

STOKES, D. E. *O quadrante de Pasteur: a ciência básica e a inovação tecnológica*. Tradução de José Emílio Maiorino. Campinas: Unicamp, 2005.

TIROLE, J. *The theory of industrial organization*. Cambridge: The MIT Press, 1988.

TRIGO, E.; CHUDNOVSKY, D.; CAP, E.; LÓPEZ, A. *Genetically modified crops in Argentine agriculture: an open ended story*. Buenos Aires: Libros del Zorzal, 2002

VALENTE, M. *Evolutionary economics and computer simulation: a model for the evolution of markets*. v. 1-3. Tese (Doutorado) – University of Aalborg, Denmark, 1999.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; CAMPOS, A. C.; FERREIRA, C. M. de C. Abordagem alternativa do crescimento agrícola: um modelo de dinâmica evolucionária. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 4, n. 2, p. 425-476, jul./dez. 2005.

VIEIRA FILHO, J. E. R. *Abordagem evolucionária da dinâmica do setor agrícola*. Dissertação (Mestrado em Economia) – UFV, Viçosa, 2004.

WINTER, S. G. Schumpeterian competition in alternative technological regimes. *Journal of Economic Behavior and Organization*, v. 5, p. 287-320, June 1984.

## Apêndice

Valores iniciais das variáveis e dos parâmetros do MEA

Correspondência no modelo	Variável	Valores
$A$	Produtividade	3000 kg/ha
	Custos de produção	Operações
		Insumos
		Administração
		Pós-colheita
		96 US\$/ha
		165 US\$/ha
		43 US\$/ha
		26 US\$/ha
$O$	Custo operacional total	330 US\$/ha
$P.A$	Receita	627 US\$/ha
$P$	Preço médio	0,21 US\$/kg
$I$	Investimento do inovador	94 US\$/ha
	Investimento do imitador	63 US\$/ha
$\gamma$	Capacidade de absorção	0,3
$\theta$	Alto <i>spillover</i>	0,7
	Baixo <i>spillover</i>	0,3
$\beta$	Conhecimento codificado	0,7
	Conhecimento tácito	0,4
$\sigma$	Depreciação da capacidade de absorção	0,06
$\psi$	Redutor de custo inovador	0,3
	Redutor de custo imitador	0,1
$E$	Conhecimento externo	350
$Z$	Estoque de conhecimento do inovador	344
	Estoque de conhecimento do imitador	320
$\alpha$	Velocidade do aprendizado	0,7
$\chi$	Parâmetro	350
	Custo total por quantidade	0,11 US\$/kg
	Resultado	296 US\$/ha
	Margem sobre a venda	0,473
	Região de referência	SP
	Dólar médio de referência	2,881

Fonte: Elaboração dos autores com base no Agrianual (2004).

ENDEREÇOS PARA CORRESPONDÊNCIA:

*José Eustáquio Ribeiro Vieira Filho* - [jose.vieira@ipea.gov.br](mailto:jose.vieira@ipea.gov.br)

SBS, Quadra 1, Bloco J, Ed. BNDES – 11º andar, sala 1108

Brasília, DF – 70076-900

Tel.: (61) 3315 5341/ Fax: (61) 3315 5321

*José Maria Ferreira Jardim da Silveira* - [jmsilv52@gmail.com](mailto:jmsilv52@gmail.com)

Instituto de Economia da Unicamp

Rua Pitágoras, 353, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”

Caixa postal: 6135

Campinas, SP – 13083-871