

Regime tecnológico e emergência dos padrões de estratégias inovativas das firmas

Evaldo Henrique da Silva
Professor do Departamento de Economia
Universidade Federal de Viçosa
ehsilva@ufv.br

Lia Hasenclever
Professora do Instituto de Economia
Universidade Federal do Rio de Janeiro
lia@ie.ufrj.br

SUMÁRIO

A relação entre as características dos regimes de aprendizagem tecnológica e as estratégias inovativas das firmas é tema recorrente no campo da economia evolucionária. Neste trabalho é apresentado um modelo de simulação para analisar os nexos de causalidade entre essas características e a emergência de padrões industriais de estratégia inovativa das firmas. A conclusão geral deste trabalho é compatível com as de outros estudos evolucionários. Não obstante, em função de algumas particularidades do modelo, a exemplo do pressuposto de racionalidade extremamente limitada e da relação cumulativa-estocástica entre capacidade absorptiva e sucesso inovativo das firmas, essas conclusões trazem à tona novas reflexões para o estudo da dinâmica tecnológica e industrial. A primeira delas é que a emergência dos padrões de estratégia tecnológica é condicionada não somente pelas características do regime tecnológico, mas também pelas condições iniciais da simulação, indicando que o contexto histórico é também de crucial importância para determinação desses padrões. Outra conclusão importante diz respeito ao tempo necessário para a emergência desses padrões, o qual pode ser relativamente longo, pois é influenciado pelas características da dinâmica seletiva e pelo tempo necessário para que as firma reavaliem suas estratégias inovativas.

JEL O33

Palavras-chave: inovação, competitividade, simulação, dinâmica industrial.

ÁREA 8: Economia Industrial e da Tecnologia

ABSTRACT

The relationship between the characteristics of technological learning schemes and strategies of innovative firms is a recurring theme in the field of evolutionary economics. This paper presents a simulation model to analyze the causal links between these characteristics and the emergence of innovative strategy of industrial firms. The general conclusion of this work is compatible with other evolutionary studies. However, due to some peculiarities of the model, such as the assumption of extremely limited rationality and the relationship between cumulative-stochastic absorptive capacity and innovative success of firms, these findings raise new ideas for the study of technological and industrial dynamics. The first is that the emergence of patterns of technology strategy is conditioned not only by the technological features of the system, but also by the initial conditions of the simulation, indicating that the historical context is also crucial for determining these standards. Another important conclusion concerns the time required for the emergence of these patterns, which can be relatively long as it is influenced by the characteristics of dynamic selective and the time required for the innovative firm to reassess their strategies.

JEL O33

Keywords: innovation, competitiveness, simulation, industrial dynamics

ÁREA 8: Economia Industrial e da Tecnologia

1. Introdução

Em quase todas vertentes teóricas das ciências econômicas é aceito o postulado de que as decisões dos agentes econômicos são condicionadas por imperativos de natureza econômica. Esses imperativos são entendidos como força criadora dos padrões de conduta que os economistas usam na formulação de modelos teóricos e empíricos.

A hipótese de maximização dos lucros, por exemplo, tem por base o pressuposto dos rendimentos decrescentes. Por outro lado, a existência de economias de escala é o alicerce do poder de mercado e das estratégias de *mark-up* das firmas oligopolistas. Na economia evolucionária existe o postulado de que a conduta dos agentes econômicos é regulada por imperativos de natureza tecnológica, que fazem brotar os padrões de estratégias inovativas e competitivas das firmas.

A decifração dos nexos de causalidade entre esses imperativos e as estratégias tecnológicas das firmas é, no âmbito da economia evolucionária, um campo de pesquisa pouco explorado.

O estudo desses imperativos levou à formulação dos conceitos de paradigmas tecnológicos, trajetória tecnológica e de regime tecnológico. Mas, a economia evolucionária ainda demanda pesquisas mais exaustivas a respeito das relações de causalidade entre a natureza do processo gerador dos conhecimentos tecnológicos, isto é, do processo de aprendizagem tecnológica, e a convergência ou emergência de padrões das estratégias inovativas e competitivas entre as firmas que integram uma determinada indústria.

Este artigo representa uma tentativa de unir duas contribuições seminais¹ que investigam as relações de causalidade entre os imperativos tecnológicos (regime tecnológico) e as estratégias inovativas das firmas, na crença de que essa junção possa eliminar as lacunas deixadas por essas importantes contribuições. O fio condutor dessa síntese reside na concepção evolucionária de tecnologia: um conjunto de peças do conhecimento (conhecimento teórico, conhecimento tácito, *know how*, tentativas e erros etc.), cuja aplicação é circundada de incertezas técnicas e econômicas. Obviamente, esta definição é a base do entendimento da dinâmica tecnológica da qual emerge os padrões de estratégias inovativas.

A firma é uma unidade orgânica criada para explorar as potencialidades de mercado que a tecnologia faz nascer, mas num invólucro de incertezas. Isso significa que a modelagem da dinâmica tecnológica tem como unidade essencial a firma não representativa, da qual emanam decisões cujos resultados representam eventos futuros que, na sua maioria, carregam um alto grau de incerteza.

A heterogeneidade das unidades de análise, a interatividade entre essas unidades, o ambiente de incerteza e a ocorrência de não linearidades nas relações de causalidades são aspectos que apontam para a necessidade do uso de modelos de simulação.

Neste artigo é apresentado um modelo de simulação da dinâmica tecnológica de uma indústria formada por um conjunto fixo de firmas que competem no desenvolvimento e aperfeiçoamento de uma nova tecnologia. Foram criados dois cenários. Em um deles, essa nova tecnologia tem como uma de suas características o alto grau de complexidade do conhecimento. No outro, o conhecimento é menos complexo. As principais conclusões extraídas das rodadas de simulação foram: a) os imperativos tecnológicos ou regime de aprendizagem tecnológica, que é a base do desenvolvimento e aperfeiçoamento da nova tecnologia, delinea os padrões de estratégia competitiva; b) mas, a emergência desses padrões é um processo lento e oneroso (associado à perda de *market share* para muitas firmas); c) o regime tecnológico que envolve conhecimento complexo faz emergir uma indústria intensiva em P&D; d) Os eventos iniciais, a exemplo das estratégias inovativas de cada uma das firmas e da realização de sucesso inovativo, compõem o conjunto de fatores que delinham o

¹ São elas: Cohen e Levinthal (1989) e Silverberg (1994).

caminho temporal das variáveis analisadas; c) em alguns casos, esses eventos podem inverter as tendências dominantes, fazendo emergir uma indústria de baixa intensidade de P&D em um contexto de alto grau de complexidade do conhecimento, ou vice-versa.

2. Referências teóricas

A elaboração do conceito de paradigma tecnológico (DOSI, 1982 e 1988) foi o passo decisivo para identificação dos imperativos tecnológicos que regem as estratégias inovativas e competitivas das firmas. Na formulação desse conceito ficou clara a natureza co-evolutiva (dinâmica e complexa) das relações de determinação entre o paradigma tecnológico e as estratégias das firmas que exploram as oportunidades tecnológicas que o paradigma tecnológico² gera. Isso porque no momento em que emerge um novo paradigma tecnológico são ativados mecanismos de seleção das inovações, das estratégias e das próprias firmas, cujas variáveis-chave e resultados serão conhecidos somente *a posteriori*. Desse modo, a emergência do padrão de conduta das firmas relativo às suas estratégias inovativas e competitivas deve ser entendida como um processo de longo prazo, o qual é movido por determinações cujas variáveis e interações não podem ser conhecidas e preditas *ex ante*. A própria noção de padrão de conduta não pode ser confundida com a noção de firma representativa, visto que esses mecanismos promotores da convergência das estratégias das firmas comportam uma dinâmica complexa que pode preservar a heterogeneidade ou a diversidade entre as firmas até o momento que o paradigma tecnológico chega ao fim e as firma entram em extinção.

O postulado fundamental dos modelos evolucionários de dinâmica industrial é que os paradigmas tecnológicos carregam as sementes de onde brotam os imperativos tecnológicos, que irão balizar o processo evolutivo das estratégias das firmas e das estruturas de mercado. Essas sementes são identificadas nas características do regime de aprendizagem tecnológica, ou simplesmente regime tecnológico (MALERBA e ORSENIGO, 1993 e 1997), cujas características são marcas exclusiva de cada paradigma tecnológico.

Segundo Dosi (1988, p. 1127), o paradigma tecnológico é definido como:

“A ‘technological paradigm’ defines contextually the needs that are meant to be fulfilled, the scientific principles utilized for the task, the material technology to be used, the material technology to be used. In other words, a technological paradigm can be defined as a ‘pattern’ of solution of selected technoeconomic problems based on highly selected principles derived from the natural sciences...A technological paradigm is both an – *exemplar* – an artifact that is to be developed and improved (such as a car, an integrated circuit, a lathe, each with its particular technoeconomic characteristics) – and a set of heuristics (e.g., Where do we go from here? Where should we search? What sort of knowledge should we draw on?)”

Por sua vez, trajetória tecnológica é entendida como

“the activity of technological process along the economic and technological trade-offs defined by a paradigm.” (Dosi, 1988, p. 1128).

² A identificação das firmas que exploram o mesmo paradigma tecnológico é fundamental para delimitação do conjunto de firmas que disputam o mesmo *mercado*, isto é, do conjunto de *firmas rivais*. Neste artigo, a definição de *mercado* ou de *firmas rivais* é parte integrante do conceito de *trajetória tecnológica*, que será definido logo adiante.

É plausível supor que as características tecnológicas do *artefato* que inaugura o novo paradigma tecnológico definem o grau de oportunidade tecnológica, o grau de complexidade, o grau de cumulatividade e o grau de apropriabilidade dos conhecimentos materializados no desenvolvimento e aperfeiçoamento desse *artefato*. Em outros termos, o paradigma tecnológico, desde o seu nascimento, define os imperativos tecnológicos, cuja análise tem como referência teórica o conceito de regime tecnológico.

O princípio de que os imperativos tecnológicos delineiam a evolução industrial é a marca principal da modelagem evolucionária (NELSON e WINTER, 1982; WINTER, 1984; SILVERBERG *et al.* 1988; CHIAROMONTE e DOSI, 1993; MARSILI *et. al.*, 1995), havendo diversos estudos de natureza teórica e empírica dedicados à análise do papel do regime tecnológico na determinação das estratégias inovativas e competitivas das firmas (PAVITT, 1984; BELL e PAVITT, 1993; KLEVORICK *et. al.*, 1995; MARSILI e VERSPAGEN, 2001).

Quanto à análise dos nexos de causalidade entre as características do regime tecnológico (oportunidade tecnológica, complexidade etc.) e as estratégias das firmas ligadas ao processo de adoção, seleção e difusão de novas tecnologias podem ser apontadas duas contribuições seminais: Cohen e Levinthal (1989) e Silverberg e Verspagen (1994).

A diferença básica entre essas duas contribuições está no fato da primeira adotar o pressuposto de que as firmas têm pleno conhecimento dos ganhos e perdas (*payoffs*) de todas as combinações possíveis que definem a função de reação das firmas rivais³. Quer dizer, a escolha das estratégias inovativas das firmas é regida pelo princípio da racionalidade substantiva⁴, o que é uma falha séria do ponto de vista da economia evolucionária. Não obstante, apesar dessa falha, essa contribuição enfatiza os efeitos das mudanças nas características do regime tecnológico sobre as estratégias inovativas das firmas (nesse caso, a intensidade de gastos com P&D), o que não se observa na contribuição de Silverberg e Verspagen (1994). Esses últimos demonstram que o mecanismo de aprendizagem por tentativas e erros na escolha da estratégia inovativa das firmas produz, no longo prazo, a emergência de padrões de estratégias inovativas entre essas firmas, mas não analisam os efeitos de mudanças no regime tecnológico sobre esses padrões.

O modelo apresentado neste artigo representa é produto do esforço de integração dessas duas contribuições. É aproveitado o conceito de capacidade absorptiva proposto por Cohen e Levinthal (1989) e a sugestão de Silverberg e Verspagen (1994) de que essa capacidade impacta diretamente sobre a probabilidade de inovar, e não sobre os lucros das firmas, conforme sugere Cohen e Levinthal (1989).

A peça principal dessa integração tem como síntese as seguintes equações:

$$\pi_i = M_i + \gamma_i(\theta \sum_j^{n-1} M_j + T) \quad (1)$$

$$\gamma_i = \phi(M_i, \beta) \quad (2)$$

Sendo: π_i = probabilidade de sucesso da atividade inovativa (o subscrito i é o identificador da firma); M_i = gastos com P&D; γ_i = índice da capacidade absorptiva dos conhecimentos externos (varia de zero a um); θ = grau de *spillover* (varia de zero a um); M_j = gastos com P&D das firmas rivais; T = grau de oportunidade tecnológico (tem como *proxy* os gastos do governo e das firmas não rivais e de outras instituições em C&T e/ou P&D); β = grau de complexidade da base de conhecimento (tem como variável *proxy* o número de áreas do conhecimento e o nível de qualificação da equipe envolvida na atividade inovativa).

³ A concepção de firmas *rivais* é a mesma encontrada nos livros da microeconomia tradicional.

⁴ Ver Dosi e Egidi (1991) e Crocco (1999) para definições de racionalidade substantiva.

No modelo de Cohen e Levinthal (1989) a variável dependente π_i da primeira equação representa o acréscimo no estoque de conhecimento da firma i , o qual reflete diretamente sobre os lucros da firma. No modelo de Silverberg e Verspagen (1994) é adotado uma versão linear das equações (1) e (2), sendo a variável dependente uma função de distribuição de probabilidade do tipo Poisson, relativa ao sucesso do esforço inovativo (variável π_i)⁵.

O efeito do grau de complexidade da base de conhecimento (parâmetro β) sobre a capacidade absorptiva da firma pode ser analisado com base na seguinte figura:

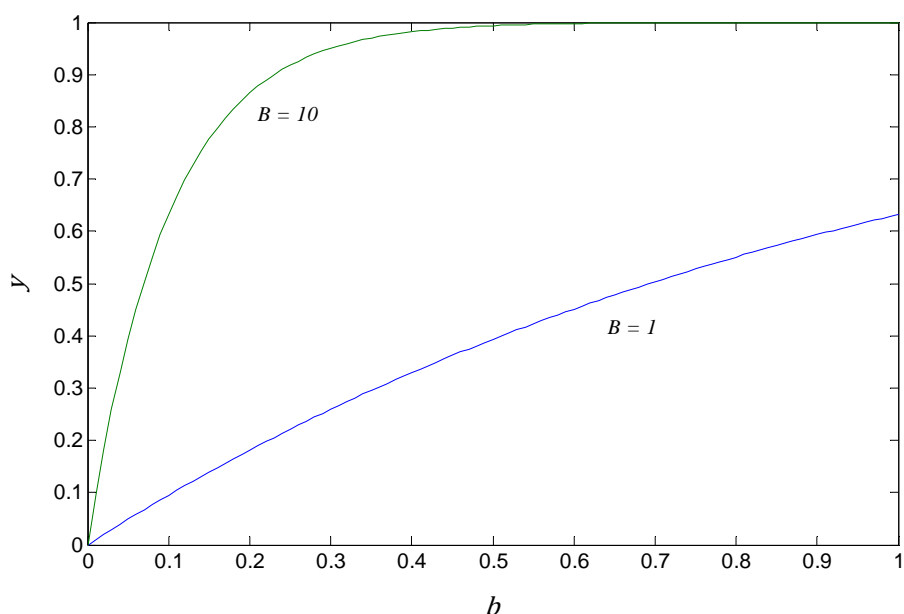


Figura 1 – Efeito do grau de complexidade da base de conhecimento sobre a capacidade absorptiva da firma

As curvas $B = 10$ e $B = 1$ foram extraídas da função $y = 1 - \exp(-Bb)$. No primeiro caso, a capacidade absorptiva alcança patamares próximos da unidade em níveis relativamente baixos de b (nesse caso, b representa os gastos com P&D em proporção das vendas). Sendo assim, paradigmas tecnológicos cuja base de conhecimento apresenta baixo grau de complexidade (parâmetro β com alto valor), associado a elevado grau de *spillover* (parâmetro θ com alto valor) e de oportunidade tecnológica (parâmetro T com alto valor) irão gerar trajetórias tecnológicas caracterizadas pela baixa intensidade de gastos com P&D em razão da disponibilidade e da facilidade de absorção de conhecimentos externos por parte das firmas. Por outro lado, maior intensidade de P&D é compartilhada com maior grau de complexidade da base de conhecimento e de oportunidade tecnológica, associada ao maior grau de *spillover*. Nesse caso, o aumento da intensidade de gastos com P&D responde à necessidade das firmas de aumentar sua capacidade absorptiva em um contexto de amplas possibilidades de sucesso inovativo, trazidas pelo conhecimento externo.

Cohen e Levinthal (1989) desenvolvem um modelo teórico com o qual analisam exaustivamente as relações de causalidade entre o valor desses parâmetros e os gastos com P&D das firmas; tudo enriquecido com pesquisa empírica. Não obstante, a dinâmica do

⁵ É adotada nesse modelo a hipótese de safras tecnológicas do estoque de capital. O número de atualizações tecnológicas de cada unidade de capital é regido por essa distribuição de Poisson.

modelo segue a lógica da teoria dos jogos, carregando a noção de equilíbrio por conta da hipótese de que as firmas têm conhecimento da sua matriz de *payoffs* para o conjunto de estratégias relativas aos gastos de P&D de todas as firmas. O equilíbrio gerado pelo modelo é do tipo Nash-simétrico⁶.

Silverberg e Verspagen (1994) incorporam em seu modelo uma equação de aprendizagem para as estratégias inovativas, isto é, dos gastos com P&D, das firmas. Essa equação é peça-chave para se obter a convergência da intensidade dos gastos com P&D das firmas rivais e, por conseguinte, fazer emergir o padrão de estratégia inovativa dentro do conjunto de firmas. Segundo os autores, a taxa de crescimento das vendas das firmas rivais é, ao lado do acaso, o determinante da probabilidade de mudança da estratégia inovativa de cada firma.

Além de não contemplar os efeitos das mudanças do regime tecnológico sobre os gastos com P&D das firmas, as séries temporais geradas pelo modelo de simulação de Silverberg e Verspagen (1994) abarcam um período de tempo pouco condizente com a realidade, visto que a convergência⁷ emerge a partir de períodos superiores a 3.000 observações, insinuando uma vida milenar das firmas ou que essas firmas mudam suas estratégias em período de tempo muito curto (e.g. diariamente).

Deixando de lado suas falhas, o modelo de Silverberg e Verspagen (1994) gera resultados em favor da tese de que o regime tecnológico condiciona as interações competitivas no sentido de produzir a emergência dos padrões de estratégia tecnológica em um ambiente de incerteza forte ou substantiva⁸. Essa é, efetivamente, a conclusão que melhor se adequa aos preceitos da economia evolucionária. Mas, resta resolver a questão do tempo necessário para a consolidação desses padrões (no modelo foram necessárias mais de 3.000 observações) e analisar os efeitos das mudanças de regime tecnológico sobre as propriedades emergentes desse modelo.

3. Linhas básicas do modelo

O pressuposto da racionalidade substantiva⁹ é um requisito fundamental para se obter a solução analítica do modelo de Cohen e Levinthal (1989). No modelo de Silverberg e Verspagen (1994) os *payoffs* das estratégias inovativas são conhecidos somente *ex-post*, isto é, o impacto de cada conjunto de estratégias poderá ser avaliado somente após a implementação dessas estratégias. O único parâmetro do processo de aprendizagem nesse modelo reside na capacidade das firmas de observarem o desempenho das vendas das firmas rivais, delineando assim o cenário de probabilidade não casuístico de mudança das estratégias inovativas. Nota-se que nesse modelo não existe a capacidade de imitação de estratégias inovativas.

No modelo proposto neste artigo o grau de “cegueira” das firmas em relação aos eventos futuros e aos que ocorrem no âmbito externo da firma é levado a um valor extremo.

⁶ Os formatos e os parâmetros das equações do modelo foram definidos de modo a produzir o equilíbrio Nash-simétrico. Nesse caso, a simetria é uma simplificação do modelo. A hipótese fundamental é a dos rendimentos decrescentes dos investimentos em P&D

⁷ Os autores empregam o conceito de “atrator”, chamando atenção para o fato do modelo produzir trajetórias relativamente estáveis no longo prazo, apesar de operar com um sistema de equações de solução indeterminada, isto é, um sistema sem solução de equilíbrio. Vale lembrar que esse atrator é, por definição, não caótico, não sendo, portanto, um atrator “estranho”. A existência do atrator, por sua vez, indica que a tendência de convergência das estratégias inovativas é compartilhada com determinado grau de diversidade dessas estratégias.

⁸ Incerteza do tipo de keynesiana, que se manifesta no contexto em que os agentes econômicos não conhecem a distribuição de probabilidade dos eventos futuros relevantes (para mais detalhes ver DOSI e EGIDI, 1991 e CROCCO, 1999)

⁹ É a racionalidade típica dos modelos neoclássicos. Os agentes conhecem a distribuição de probabilidade dos eventos futuros.

Em outros termos, adota-se o pressuposto de que as decisões estratégicas das firmas operam com racionalidade extremamente limitada. Nesse sentido, os parâmetros de aprendizagem no âmbito das decisões estratégicas giram em torno de eventos cujas informações são de pleno domínio das firmas, a exemplo do lucro e do *market share* das vendas dessas firmas.

As informações que cada firma dispõe a respeito dos preços, dos custos, dos gastos inovativos e do *market share* das vendas de suas rivais não são suficientemente confiáveis para balizarem suas estratégias inovativas. Menos confiáveis ainda são as distribuições de probabilidade dos eventos futuros, sejam eles internos ou externos ao âmbito da firma, não importando o tempo de vida da firma. A realização de uma inovação a partir dos investimentos em P&D é um exemplo de incerteza que ocorre no âmbito interno da firma; uma incerteza cujo grau independente do tempo de vida da firma.

Para fins do modelo aqui proposto, as únicas informações que as firmas confiam plenamente quando avaliam a necessidade de mudança em suas estratégias inovativas são o lucro e o *market share* das vendas delas próprias e que estão sendo observados. Com base nessas informações as firmas tomam suas decisões no campo das estratégias inovativas. A título de simplificação do modelo, o *mark up* e o coeficiente de capital são tomados como parâmetros do modelo, não cabendo decisões estratégicas para os mesmos.

Neste modelo, por conta de hipóteses simplificadoras, a performance competitiva depende exclusivamente do nível de preços. Esse nível, por sua vez, depende fundamentalmente das inovações de processo, as quais estão probabilisticamente associadas aos gastos com P&D. Por conseguinte, esses gastos ocupam uma posição-chave no processo de avaliação das estratégias competitivas das firmas, visto serem esses gastos a única variável que essas firmas podem controlar quando elas deparam com a necessidade de mudança em suas posições competitivas.

Nessa linha de raciocínio as mudanças nas estratégias inovativas serão implementadas somente em caso de perda de *market share* das vendas ou de prejuízos. Se a firma perde *market share*, mas registra lucros positivos, ela interpreta esses resultados como um sinal de que os níveis de investimento em P&D são inadequados para sustentar uma boa performance competitiva. A reação esperada é o aumento do percentual do valor das vendas alocados para os gastos com P&D. Em caso de prejuízo, a necessidade de sobrevivência força a redução do percentual destinado a esses gastos. Numa situação em que há manutenção ou crescimento do *market share* das vendas, compartilhada com lucros positivos, as firmas são levadas à conclusão de que o percentual do faturamento destinado a P&D é adequado para garantir uma boa posição competitiva.

Quanto ao processo de mudança tecnológica, são adotadas algumas simplificações no modelo. As inovações são exclusivamente de processo, afetando somente a produtividade da mão de obra, refletindo diretamente sobre o custo médio de produção. Não existe o efeito de safra tecnológica, indicando que o sucesso inovativo não se repete dentro de um mesmo intervalo de tempo. O modelo opera, portanto, com distribuição de probabilidade do tipo binominal, sendo cada intervalo de tempo a base de realização do evento probabilístico, que se resume no sucesso ou fracasso da inovação. Essa probabilidade varia positivamente com o percentual de gastos com P&D das firmas. Mas, por hipótese, as firmas não têm conhecimento preciso da relação entre os gastos com P&D e a probabilidade do sucesso inovativo.

De acordo com a hipótese de “cegueira” das firmas, formulada anteriormente, as firmas desconhecem os mecanismos de causalidade e as interatividades que regem a dinâmica da competição. Elas não têm uma idéia precisa de como operam esses mecanismos. Não sabem exatamente quais as variáveis-chave dessa dinâmica e não possuem capacidade de formular um modelo explicativo plenamente confiável. Inútil para elas são os conceitos de curva de demanda e de elasticidade-preço da demanda. Obviamente, o mecanismo de seleção

existe e foi modelado com base em um princípio análogo ao da seleção natural, o qual é conhecido como princípio de Fisher, matematicamente definido pela equação replicadora (SILVERBERG, 1988 e 1997). O único campo em que as firmas são poupadas de eventos futuros incertos é o da aplicação da nova tecnologia. Sabem elas que a realização de um sucesso inovativo impacta diretamente sobre a produtividade da mão-de-obra, reduzindo o custo médio e o preço final da produção.

Outra simplificação do modelo é a ausência de entrada ou saída de firmas no mercado. Não, obstante, as firmas que não lograram êxito relativo em sua atividade inovativa e que foram empurradas para um *market share* próximo de zero, ficarão impedidas de realizarem gastos com P&D e condenadas à probabilidade zero de sucesso inovativo. Em termos relativos, essas firmas estarão excluídas do mercado.

A ênfase na dimensão microeconômica é outro aspecto relevante do modelo. A noção de *indústria* é posta concomitantemente à noção de regime tecnológico. Então, deve-se reconhecer o fato de que parte significativa dos gastos que garantem a demanda da indústria em análise é exogenamente determinada (depende a renda gerada nos demais indústrias da economia). Cada indústria “abocanha” uma parte do gasto total da economia. O fluxo de inovação, em especial as inovações de produto, pode ser um dos determinantes da participação de cada setor nesse total de gastos. Para fins de simplificação do modelo, será adotada a hipótese de que essa participação é constante.

A seguir, será apresentado o conjunto de equações do modelo, o qual define matematicamente as relações de causalidade apresentadas no referencial teórico e nas linhas básicas do modelo.

4. Equações do modelo

O conjunto de equações do modelo está dividido em três blocos. O primeiro bloco é composto de equações que captam as interações de mercado das firmas, determinando o desempenho econômico (vendas e lucros) dessas firmas. O mecanismo de seleção (dinâmica de mercado) é definido nesse bloco. O segundo bloco versa sobre a dinâmica tecnológica no âmbito da firma. Nesse bloco são especificadas a distribuição de probabilidade dos eventos inovativos e o processo de mudança tecnológica, sendo descritas as funções relativas às fontes geradoras e ao impacto dessa mudança em termos de inovações de processo (nesse modelo não ocorrem inovações de produto). No último bloco é especificada a dinâmica da aprendizagem. Esse bloco é composto por um número reduzido de equações, refletindo as restritas possibilidades de aprendizagem no campo das decisões estratégicas.

a) Bloco da Dinâmica seletiva

De acordo com as linhas básicas do modelo, a demanda da *indústria*¹⁰ é representada pela parcela da renda nacional que é gasta com os produtos dessa indústria. O valor total das vendas para o conjunto das firmas do modelo é dada pelas seguintes equações:

$$Q_t = (Y_t + L_t w) \psi \quad (3)$$

$$Y_t = Y_0 e^{rt} \quad (4)$$

¹⁰ Para os propósitos deste artigo é suficiente o uso da noção de indústria típica dos manuais de microeconomia: conjunto de firmas que atuam em um mesmo mercado. Mas, o modelo permite uma definição de cunho evolucionário: o conjunto de firmas que simultaneamente exploram as oportunidades tecnológicas criadas a partir do *artefato* (DOSI, 1988) que inaugura um novo paradigma tecnológico.

$$L_t = \sum_{i=1}^n L_{i,t} \quad (5)$$

Sendo Q = valor total das vendas (subscrito t indica tempo) do conjunto das n firmas que formam a indústria simulada; Y = renda nacional; r = taxa de crescimento da renda nacional¹¹; L_t = total de trabalhadores empregados na indústria simulada; $L_{i,t}$ = nível de emprego gerado pela firma i ; ψ = parcela da renda nacional gasta na compra de produtos da indústria simulada; w = taxa de salário¹².

De acordo com a equação (3), a demanda da indústria simulada apresenta um componente exógeno (Y) e um componente endógeno (Lw). O parâmetro ψ é constante, indicando que a atividade inovativa não impacta sobre a parcela da renda nacional gasta com produtos da indústria simulada.

O nível de emprego gerado em cada firma é dado pela seguinte equação:

$$L_{i,t+1} = Q_{i,t}/a_{i,t} \quad (6)$$

Sendo L_i = nível de emprego da firma i ; $Q_{i,t}$ = valor das vendas da firma i ; $a_{i,t}$ = produtividade da mão-de-obra da firma i .

A dinâmica seletiva é regida pelo seguinte conjunto de equações:

$$Q_{i,t} = s_{i,t} Q_t \quad (7)$$

$$\Delta s_{i,t+1} = \phi(1 - P_i/P)s_{i,t} \quad (8)$$

$$P_t = \sum_{n=1}^n s_{i,t} P_{i,t} \quad (9)$$

$$P_{i,t} = (1 + \tau)w/a_{i,t} \quad (10)$$

Sendo: $s_{i,t}$ = *market share* das vendas da firma i ; P_i = nível de preço da firma i ; P = média dos níveis de preço do conjunto de n firmas; τ = *mark up* (por hipótese simplificadora, todas as firmas praticam o mesmo *mark up*).

A equação (8) é uma peça central da dinâmica competitiva. Nos termos dessa equação, as firmas em desvantagem competitiva ($P_{i,t} > P_t$) perdem *market share* das vendas. No entanto, a despeito dessa perda, essas firmas podem sobreviver por período de tempo relativamente longo, dependendo do valor do parâmetro ϕ . Inclusive, haverá tempo suficiente para a firma reverter essa desvantagem, dependendo da evolução da sua atividade tecnológica e do seu sucesso inovativo. Nessa dinâmica vai sendo preservado a heterogeneidade (de estratégia, de tamanho, de produtividade etc.) da indústria.

b) Bloco da dinâmica tecnológica

As equações desse bloco foram elaboradas sob a égide teórica das contribuições de Cohen e Levinthal (1989) e Silverberg e Versbagen (1994). Conforme indicado nos termos

¹¹ As mudanças de valores das variáveis do modelo carregam uma noção de tempo real equivalente ao período de um ano. Sendo assim, o valor de r foi igualado a 0.04, que é uma taxa de crescimento anual de longo prazo aproximadamente igual à média nacional e mundial nas últimas décadas.

¹² No modelo não existe dinâmica para o índice geral de preços. A taxa de salário real é constante.

das equações (1) e (2), a dinâmica tecnológica do modelo é fruto de uma tentativa de síntese entre essas duas contribuições. Essa tentativa deu origem ao seguinte conjunto de equações:

$$a_{i,t}^* = [(1 + \lambda)a_{i,t}]Pr_{i,t} \quad (11)$$

$$Pr_{i,t} = P(X = 1) = 1 - e^{-\alpha TT_{i,t}} \quad (12)$$

$$a_{i,t+1} = \max(a_{i,t}, a_{i,t}^*) \quad (13)$$

$$T_{i,t} = RD_{i,t} + \gamma_{i,t}(\theta \sum_{i=1}^n RD_{i,t} + \mathcal{T}) \quad (14)$$

$$\gamma_{i,t} = 1 - e^{-\beta b_{i,t}} \quad (15)$$

$$TT_{i,t} = T_{i,t}(1 + \kappa \log(a_{max,t}/a_{i,t})) \quad (16)$$

$$a_{max,t} = \max(a_{1,t}, a_{2,t} \dots a_{n,t}) \quad (17)$$

$$RD_{i,t} = b_{i,t}P_{i,t}Q_{i,t} \quad (18)$$

Sendo: a_i^* = produtividade da mão de obra (o subscrito i é o identificador da firma), resultante da mudança tecnológica; a_i = produtividade da mão de obra efetivamente operada pela firma i; λ = índice de avanço tecnológico (por hipótese simplificadora, é igual para todas as firmas); Pr_i = probabilidade de sucesso inovativa (distribuição binominal); T_i = fator que define a probabilidade de sucesso inovativo; RD_i = total de gastos com P&D; γ_i = índice de capacidade absorptiva; θ = grau de *spillover*; \mathcal{T} = grau de oportunidade tecnológica; b_i = relação P&D/vendas da firma i; β = grau de complexidade da base de conhecimento; TT_i = parâmetro da função de distribuição de probabilidade do evento inovativo; α e κ = parâmetros do modelo.

As equações (11) e (16) foram extraídas do modelo de Silverberg e Verspagen (1994). A equação (14), por sua vez, foi formulada de acordo com os argumentos teóricos de Cohen e Levinthal (1989), mas devidamente adaptada para incorporar os elementos de incerteza-probabilísticos típicos da atividade inovativa. Assim sendo, esse conjunto de equações é a concretização do projeto de modelagem desenhado no referencial teórico.

A equação (15) carrega o elemento-chave da definição dos cenários. O parâmetro β capta o grau de complexidade da base de conhecimento, cujos efeitos sobre a capacidade absorptiva das firmas foram analisados no referencial teórico (Figura 1). Quando menor o valor de β maior o grau de complexidade e, portanto, menor é a capacidade de absorção de conhecimentos externos da firma para um dado montante de P&D e, quanto menor essa capacidade, menor a probabilidade do sucesso inovativo. Um regime tecnológico com alto grau de complexidade da base de conhecimento implica a necessidade de uma relação P&D/vendas com alto valor para que a firma possa usufruir dos conhecimentos externos e do efeito *catching up*. Mas, esse esforço pode comprometer os resultados financeiros da firma, pois o gasto com P&D é contabilizado no modelo como um custo indireto da produção (equação 19). Opostamente, um regime com baixo grau de complexidade da base de conhecimento corresponde a uma alta capacidade de absorção do conhecimento externo para esforços inovativos relativamente baixos. Nesse tipo de regime é esperada uma situação de desvantagem para as firmas que adotam estratégias agressivas de P&D, pois o sucesso inovativo dessas firmas “vaza” para as firmas rivais com estratégias menos agressivas, as

quais concomitantemente são poupadas do sacrifício financeiro decorrente da adoção de estratégias inovativas agressivas.

c) *Bloco da dinâmica de aprendizagem*

Seguindo as linhas básicas do modelo, as firmas vão adquirindo experiência a respeito da melhor estratégia por meio de um longo processo de tentativa e erro. Elas não têm capacidade de conhecer e muito menos prever as estratégias adotadas pelas rivais e muito menos ainda a capacidade de prever os resultados futuros de cada estratégia adotada. Restam então às firmas avaliar os resultados concretos que elas definitivamente conhecem, isto é, os resultados que são exclusivos do âmbito interno da firma, entre eles o lucro e o *market share* observados, considerados mais importantes em termos de avaliação do desempenho competitivo.

As regras de aprendizagem e seleção das estratégias inovativas são definidas de acordo com o seguinte esquema:

$$\Pi_{i,t} = P_{i,t}Q_{i,t} - L_{i,t}w - RD_{i,t} \quad (19)$$

$$\text{Se } \begin{cases} \Pi_t > 0 \\ e \end{cases}$$

$$\text{Se } \begin{cases} \Pi_t > 0 \\ e \end{cases}$$

$$\Delta s_{i,t} < 0; \text{ então } b_{i,t+1} = (1 + \nu)b_{i,t}$$

$$\text{Se } \Pi_t \leq 0; \text{ então } b_{i,t+1} = (1 - \eta)b_{i,t}$$

Sendo: Π_i = lucro da firma i (por simplificação, foi adotada a hipótese de que não existem gastos com matéria prima, nem depreciação).

Nesse conjunto de regras o primeiro destaque é a observação de que as firmas avaliam o resultado de suas estratégias uma vez a cada período. A dimensão temporal pensada neste modelo é equivalente a uma série com períodos anuais. Isso significa que as firmas demandam um período equivalente a um ano para concluir o processo de avaliação de suas estratégias inovativas. Os parâmetros ν e η são positivos e menores do que um. Então, ocorrem três situações distintas. A primeira delas representa a situação em que a firma registra lucro positivo e aumento ou manutenção do *market share* das vendas. Nesse caso, existe a convicção na firma de que a estratégia adotada é uma boa escolha, não havendo necessidade de mudá-la. No segundo caso, é registrado lucro positivo, porém houve perda de *market share*. Essa situação cria dentro da firma pressões para mudar a estratégia inovativa, devido à ameaça de perda de mercado. Visto que a firma ainda dispõe de margem positiva de lucro, é natural imaginar a ocorrência de pressões internas para o aumento dos recursos destinados aos investimentos em P&D. No caso específico deste modelo, a estratégia inovativa é a única maneira de se buscar uma melhoria do desempenho competitivo via redução dos custos e dos preços. Mas, vale lembrar que as firmas não dispõem de um modelo de competição que elas

podem depositar absoluta confiança. Elas não têm certeza a respeito das variáveis-chave da competição e muito menos sobre as relações de causalidade envolvidas na dinâmica de seleção do mercado. O aumento dos gastos com P&D foi modelado como sendo única via ao alcance das firmas para tentar melhorar o desempenho de mercado.

A última situação comporta uma reação típica de sobrevivência. Ao contabilizarem prejuízo ou lucro zero as firmas tomam medidas para minimizar as perdas, o que implica obviamente o corte de gastos, em especial dos gastos que não comprometem as atividades operacionais dessas firmas.

5. Resultados da simulação

A parte central do modelo é composta por 10 subgrupos de equações, cada subgrupo representando uma firma. O bloco de dinâmica seletiva (equações 7 a 10) e a equação de *catching up* (equação 16) formam os canais de interação entre esses subgrupos. De acordo com as linhas básicas do modelo, o número de firmas não se altera ao longo da simulação, característica essa presente nos modelos de Cohen e Levinthal (1989) e de Sivlerberg e Verspagen (1994). Mas, algumas firmas poderão sofrer perda significativa do *market share* a ponto de se tornarem irrelevantes em termos dos resultados finais da simulação.

Apenas dois cenários foram realizados. O primeiro deles representa o contexto de um regime tecnológico com alto grau de complexidade da base de conhecimento (parâmetro β da equação 15 igual a unidade) e alto grau de oportunidade tecnológica (parâmetro \mathcal{T} da equação 14 designado com um valor considerado elevado, sendo igualado a 10). O outro cenário é referente a um regime tecnológico com baixo grau de complexidade da base de conhecimento (parâmetro β igual a 10) e alto grau de oportunidade tecnológica (parâmetro \mathcal{T} igual a 10). As trajetórias produzidas nesses dois cenários fornecerão os dados para a análise da importância do regime tecnológico como fator determinante da emergência dos padrões de mudança tecnológica da indústria simulada.

Os valores iniciais do parâmetro b_i (equação 14) foram arbitrariamente designados com uma enorme discrepância entre as 10 firmas. Esses valores foram estipulados dentro do intervalo de 0,01 até 0,5. Essa escolha arbitrária é uma forma estilizada de captar um fenômeno típico da emergência de um novo paradigma tecnológico: a ausência de um padrão de estratégia inovativa¹³. Por outro lado, o *market share* inicial de cada firma é igual a 10%, sendo iguais também os valores iniciais da produção, da produtividade, do custo médio e dos preços, indicando que na fase de emergência do novo paradigma o poder competitivo das firmas está nivelado, a despeito das diferenças em termos de estratégias inovativas. Somente no longo prazo essas diferenças vão refletir no poder competitivo de cada firma e desembocar na convergência dessas estratégias.

Conforme mostrado na Figura 2, a média de b_i diminui de forma significativa até o trigésimo período em ambos os cenários. Essa queda indica que as firmas que optaram inicialmente por uma alta taxa de investimento em P&D foram as que apresentaram os piores resultados em termos de desempenho econômico.

Somente a partir do quinquagésimo período fica nítida as tendências de cada uma das trajetórias. Em alguns momentos os valores da serie temporal gerada no cenário S2 ultrapassam os valores gerados no cenário S1. Esse “retardo” e esse “balanço” antes da

¹³ A heterogeneidade das estratégias inovativas visando explorar as oportunidades tecnológicas geradas pelo novo paradigma é um fato estilizado da microeconomia evolucionária (DOSI *et. al.*, 1990; BELL e PAVITT, 1993). Um dos grandes desafios da economia evolucionária é a modelagem da formação de padrões de estratégia inovativa sem abordar o princípio da heterogeneidade. A noção de “atrator” explorada brilhantemente no artigo de Silverberg e Verspagen (1994) foi a solução encontrada por esses autores para conciliar os princípios da heterogeneidade e da convergência.

consolidação das tendências de cada uma dessas séries é reflexo da dinâmica competitiva produzida pela equação replicadora (equação 8, cujo parâmetro ϕ foi designado com um valor relativamente baixo, sendo igualado a 0,1). Por conta desse parâmetro, os diferenciais do poder competitivo de cada firma só se manifestam no longo prazo e por meio de efeitos defasados.

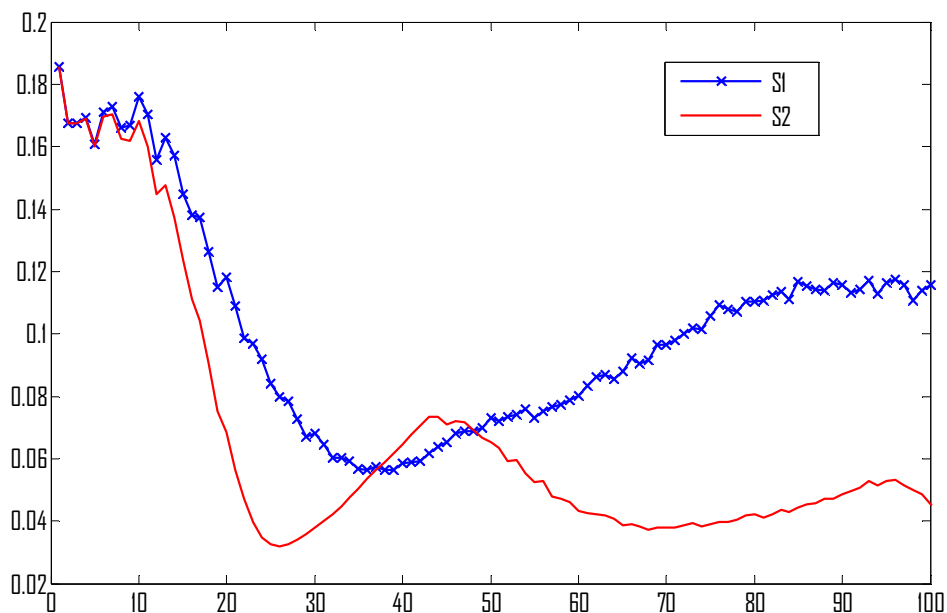


Figura 2 – Série temporal do valor médio de b_i (P&D/vendas) de cada cenário, calculado para as 10 firmas nas 10 rodadas simulação

Os resultados mostrados na Figura 2 são condizentes com a hipótese de que o alto grau de complexidade da base de conhecimento é um fator que eleva a taxa de investimento em P&D (parâmetro b_i). Mas, ao contrário do que sugere Cohen e Levinthal (1989), esse ajuste não é automático, podendo levar um longo período de tempo – o qual, na simulação, levou aproximadamente 50 anos, valendo a hipótese de que as firmas ajustam suas estratégias uma vez a cada ano.

Cada rodada de simulação se traduz em um experimento estatístico. Desse modo, podem ser produzidas distintas trajetórias dentro do mesmo cenário. Nas Figuras 3 e 4 estão registradas as trajetórias das médias de b_i (média ponderada entre as 10 firmas) nas 10 rodadas de simulação de cada cenário. No cenário S1 a maior parte dos valores fica acima de 0,08 a partir do quinquagésimo período. Enquanto que no cenário S2, a maior parte ficou abaixo de 0,08 a partir desse mesmo período. Algumas séries, no entanto, quebram essa regra, fazendo com que os valores do cenário S2 suplantem os valores produzidos no cenário S1.

Esses dados mostram a possibilidade de um regime tecnológico com alto grau de complexidade evoluir para uma intensidade relativamente baixa em termos de investimento em P&D ou vice-versa. No âmbito da simulação, esse é um fenômeno relativamente raro, mas serve para demonstrar a possibilidade da ocorrência de padrões distintos em termos de estratégia inovativa dentro de uma mesma indústria, dependendo do contexto. No caso específico da simulação, esse contexto é caracterizado exclusivamente pelos valores de b_i e pelas realizações probabilísticas do início da simulação.

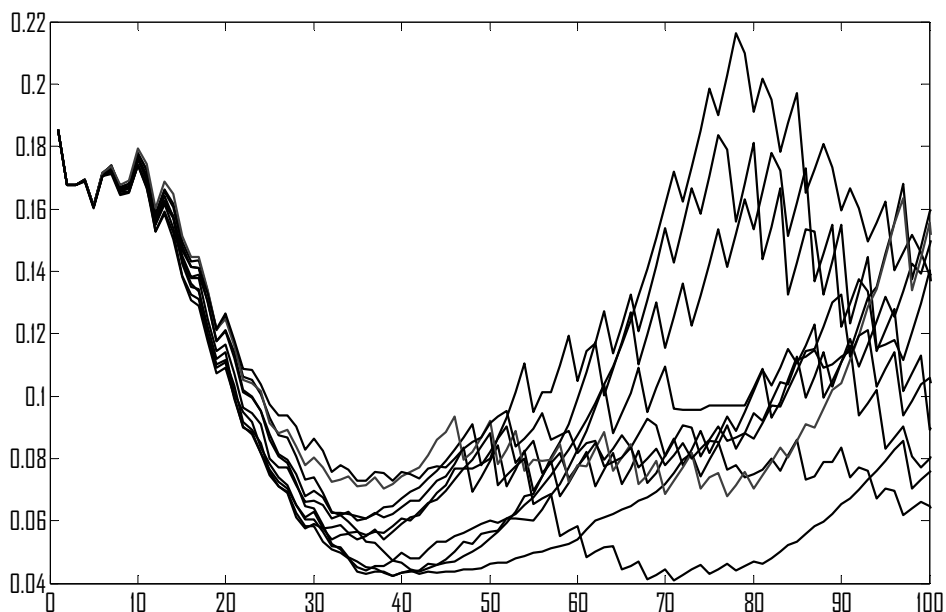


Figura 3 – Série temporal do valor médio de b_i (P&D/vendas) das 10 firmas em cada rodada de simulação para o cenário S1

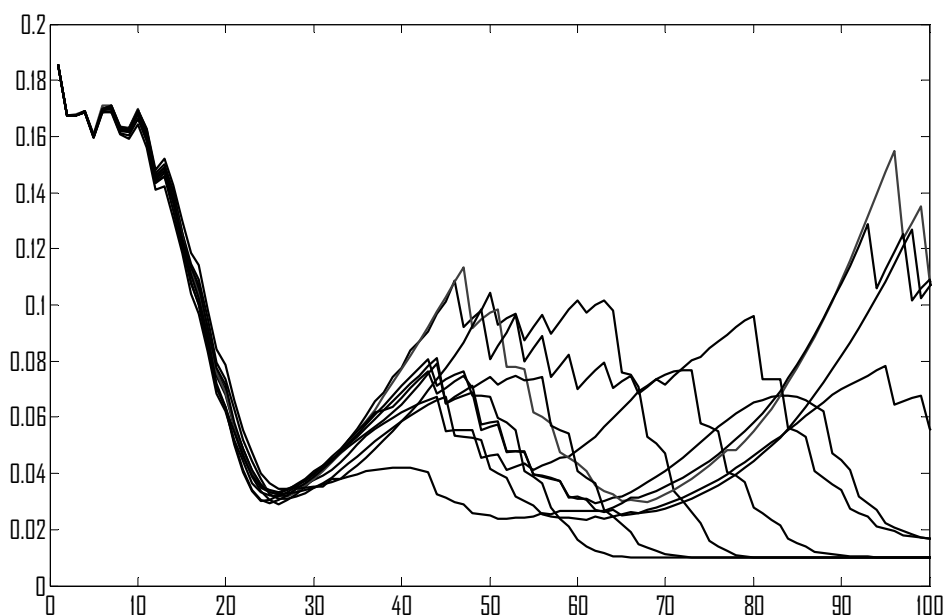


Figura 4 – Série temporal do valor médio de b_i (P&D/vendas) das 10 firmas em cada rodada de simulação para o cenário S2

Vale notar que essa diversidade de trajetórias dentro do mesmo regime não se altera em função do efeito *catching-up* (equação 16). Resultados praticamente idênticos foram obtidos nas rodadas de simulação com os valores de 0,1 e 1 designados ao parâmetro κ , o que indica a irrelevância desse efeito. Na verdade, o *catching up* está incluso no conceito de capacidade absorptiva (parâmetro γ , equação 14) formulado por Cohen e Levinthal (1989). Nessa formulação, o conceito de *catching up* carrega a concepção de *spillover* e de

oportunidade tecnológica, pondo em evidência a complexidade do fenômeno do *catching-up*. Outro cenário não contemplado, mas que poderia produzir os mesmos resultados quanto ao papel do *catching up*, é relativo ao regime tecnológico com baixo grau de *spillover* e de oportunidade tecnológica. Nesse caso, sequer existem as condições de ocorrência do *catching up*, pois todo esforço de P&D para aumentar a capacidade absorptiva não lograria êxito, visto não existirem conhecimentos aptos a serem absorvidos.

A tendência de aumento ou de queda do valor médio da intensidade de P&D das firmas (parâmetro b_i) – dependendo do regime tecnológico – e a convergência das estratégias inovativas são os fatos estilizados que caracterizam a emergência dos padrões de mudança tecnológica. Com relação ao fenômeno da convergência foi analisada a série temporal da média da variância de b_i , calculada em cada um dos cenários e cujos valores estão plotados na Figura 4.

Em ambas as séries a tendência nítida de queda só vai emergir a partir do trigésimo período. Salvo a queda abrupta no primeiro período, as disparidades das estratégias inovativas persistem durante um intervalo de tempo relativamente longo, indicando que a aprendizagem no campo das decisões estratégias é um processo lento e oneroso (perda de *market share*), para algumas firmas. As firmas mudam inúmeras vezes suas estratégias em meio ao processo de tentativas e erros, que lentamente vai selecionando as estratégias mais promissoras em termos de desempenho competitivo e econômico.

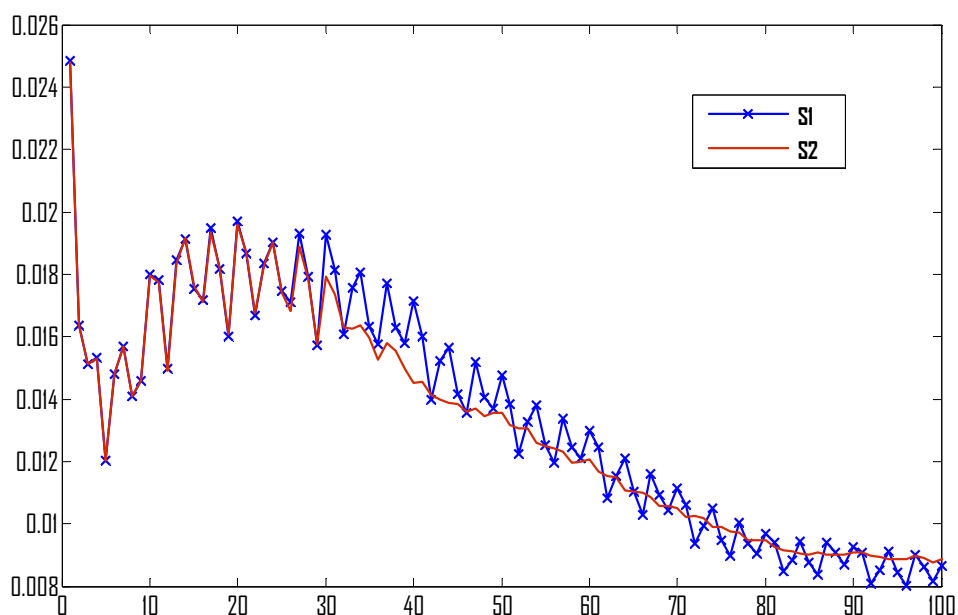


Figura 5 – Valor médio da variância de b_i (P&D/vendas) nas 10 rodadas de simulação de cada cenário

No transcorrer desse processo de aprendizagem algumas firmas sucumbem antes de conhecerem a estratégia condutora do sucesso inovativa e competitivo. Essas firmas são malsucedidas em termos da escolha das estratégias inovativas e/ou do evento inovativo (realização do sucesso inovativo em cada período da simulação) nos primeiros períodos da simulação. As firmas que acumulam sucessos inovativos, combinados com decisões estratégicas que não geram prejuízo, tendem a crescer em ritmo mais acelerado perante suas rivais malsucedidas, dispondo assim de um volume de recursos para inovação relativamente

maior, o que aumenta a probabilidade de sucesso dessa atividade em relação às firmas que ficaram com porte menor.

Essa sobreposição dos efeitos randômico e cumulativo no processo inovativo desemboca numa tendência de concentração de mercado, registrada nas Figuras 5 e 6. Essa tendência é sensível aos eventos ocorridos nos primeiros períodos da simulação. São esses eventos que provocam uma disparidade significativa no valor final do índice de concentração da produção (índice Herfindahl-Hirschman), constatada nos cenários S1 e S2. No cenário S1, uma das trajetórias termina com o índice pouco acima de 40.000, enquanto outra termina próximo de 80.000, quer dizer, praticamente o dobro da concentração. Algo semelhante acontece no cenário S2. Ao final do centésimo período uma das trajetórias foi finalizada com um valor pouco abaixo de 60.000. Em compensação, outra trajetória atingiu grau máximo de concentração antes do término do sexagésimo período.

Resultado muito importante é a constatação de que a tendência de concentração é mais forte no cenário S2, cujo regime tecnológico é caracterizado pelo baixo grau de complexidade da base de conhecimento, tendo um padrão de mudança tecnológico marcado pela baixa intensidade de P&D. Quer dizer, o setor menos intensivo em P&D apresenta uma forte tendência à concentração da produção se comparada ao setor mais intensivo em P&D. Lembrando que o modelo não incorpora economias de escala, então é o próprio processo de mudança tecnológica o causador dessa concentração; mas, curiosamente, é justamente a indústria menos intensiva em P&D a que mais concentrou a produção.

A explicação desse fenômeno reside no mecanismo de absorção do conhecimento externo, o qual é mais poderoso no cenário S2. As firmas que optaram pelas estratégias de alta intensidade de P&D no início da simulação vão alimentar o sucesso inovativo das firmas com baixa intensidade de P&D. Essas, por sua vez, vão obter lucros mais elevados no início da simulação não somente por que investiram menos em P&D, mas também por que se beneficiaram dos conhecimentos gerados por suas rivais que adotaram estratégias inovativas mais agressivas. Esse duplo efeito acelera o crescimento do *market share* das firmas que foram bem sucedidas no início da simulação. No cenário S1 a situação é um pouco diferente. Apesar o processo cumulativo, a absorção do conhecimento é mais limitada, pois o regime tecnológico é caracterizado pelo alto grau de complexidade da base conhecimento. Somente as firmas com estratégias mais agressivas de P&D podem usufruir dos conhecimentos gerados externamente. No entanto, essas firmas esbarram na debilidade financeira, produzida justamente pelos gastos elevados em P&D. O recuo em sua agressividade, combinado com a baixa capacidade de absorção das demais firmas, reduz a probabilidade de sucesso inovativo da maioria das firmas, o que impede a formação de um fosso profundo entre as firmas bem e mal sucedidas.

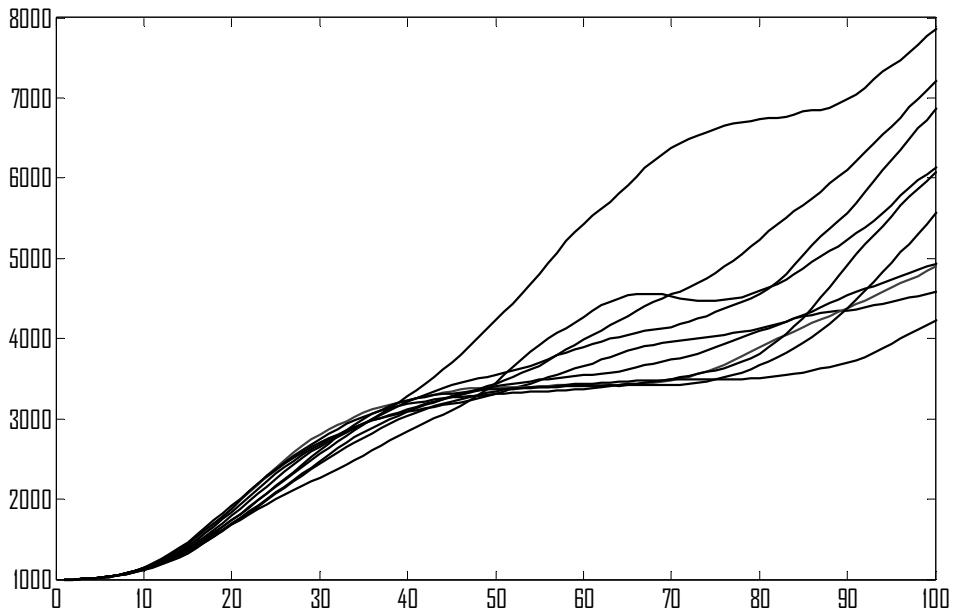


Figura 6 – Série temporal do índice de Herfindahl-Hirschman de cada rodada de simulação no cenário S1

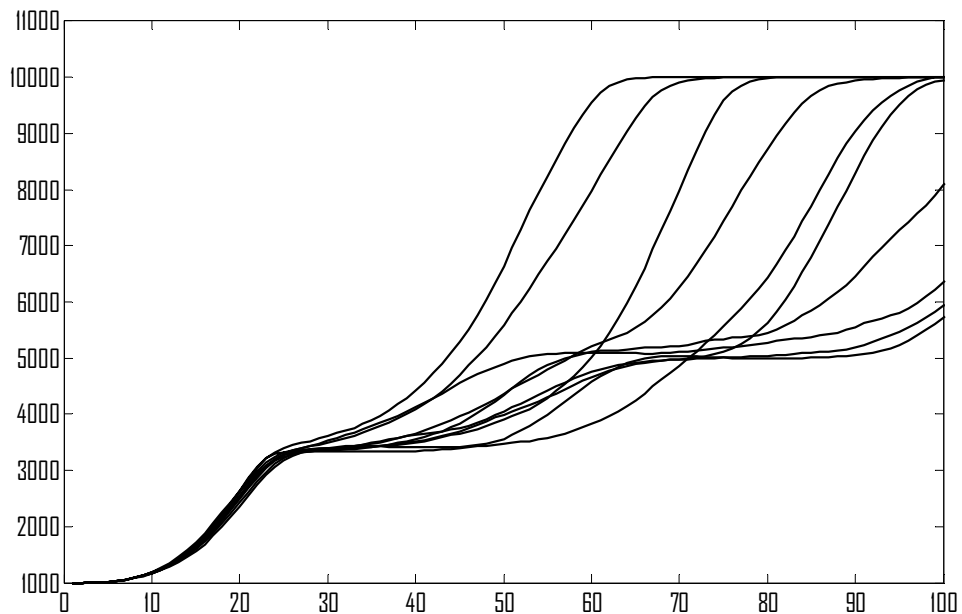


Figura 7 – Série temporal do índice de Herfindahl-Hirschman de cada rodada de simulação no cenário S2

Com esses resultados ficam delineados dois quadros de mudança tecnológica e de estrutura de mercado, resultantes dos imperativos estabelecidos pelo regime tecnológico. No regime com alto grau de complexidade da base de conhecimento, combinado com alto grau de *spillover* e de oportunidade tecnológica, emerge um padrão tecnológico caracterizado por intensidade de P&D (variável b_i) relativamente alta (valor médio próximo de 0,12 no final da

simulação) e com grau de concentração da produção relativamente baixo (índice de Herfindahl-Hirschman que raramente ultrapassa a 60.000 no final do centésimo período). Com um grau de complexidade baixo, as tendências se invertem, baixando a intensidade de P&D e elevando o grau de concentração da produção (com a maioria atingindo índice de Herfindahl-Hirschman igual a 10.000 entre o sexagésimo e o centésimo períodos).

6. Conclusões

Os imperativos econômicos (economias de escala, rendimentos decrescentes, barreiras à entrada etc.) são pilares fundamentais da modelagem econômica, pois teoricamente cumprem o papel de condicionante das condutas que prevalecem dentro das firmas. Na economia evolucionária são fundamentais as noções de paradigma tecnológico, trajetória tecnológica e regime tecnológico. Essas noções fornecem a pista para o entendimento das forças que condicionam as decisões tecnológicas dentro das firmas.

A decifração dos nexos de causalidades entre os imperativos tecnológicos e as condutas reinantes dentro das firmas é a questão motivadora desta pesquisa. Essa investigação foi realizada com base em um modelo de simulação. Tal modelo é formado por um conjunto de equações cujos termos representam a tradução quantitativa dos conceitos de regime tecnológico, capacidade absorptiva e equação replicadora. As relações de causalidade expressos nessas equações advêm das noções evolucionárias de firma, indústria e mercado. As firmas são o *locus* da aprendizagem e dos avanços tecnológicos. A indústria, por sua vez, representa o conjunto de firmas rivais, isto é, o conjunto de firmas que competem entre si no desenvolvimento e aperfeiçoamento de um *artefato* tecnológico. Esse artefato, e toda a heurística envolvida em seu desenvolvimento e aperfeiçoamento, concretizam um novo paradigma tecnológico.

O regime tecnológico foi definido como os parâmetros-chaves que condicionam o processo de aprendizagem tecnológica de onde provêm as soluções tecnológicas para esse *artefato*.

Em regimes tecnológicos cujos parâmetros facilitam (dificultam) a imitação e a transferência de tecnologia, isto é, regimes em que as firmas possuem alto (baixo) grau de capacidade absorptiva com pouco (alto) esforço de aprendizagem tecnológica, é intuitivo imaginar que as indústrias irão evoluir para um padrão de estratégia inovativa com baixa (alta) intensidade de P&D. De fato, essa foi a conclusão de alguns estudos evolucionários importantes. O objetivo deste artigo foi analisar teoricamente de que modo o regime tecnológico condiciona o surgimento desses padrões em um contexto de incertezas tecnológicas e econômicas.

Os resultados das rodadas de simulação geraram conclusões condizentes com as de outros estudos que investigam o papel do regime tecnológico na determinação da conduta das firmas. Mas, em função de algumas particularidades do modelo aqui apresentado, a exemplo da racionalidade extremamente limitada e da determinação cumulativa-estocástica entre capacidade absorptiva e sucesso inovativo das firmas, essas conclusões trazem à tona novas reflexões para o estudo da dinâmica tecnológica e industrial. A primeira delas é que a emergência dos padrões industriais de estratégia tecnológica das firmas é condicionada não somente pelas características do regime tecnológico, mas também pelas condições iniciais da simulação, indicando que o contexto histórico é também de crucial importância para a determinação desses padrões. Nessa perspectiva, é possível que a mesma indústria em economias diferentes possa apresentar padrões de estratégia inovativa também diferentes. Outra conclusão importante diz respeito ao tempo necessário para a emergência desse padrão. Esse tempo pode ser relativamente longo, dependendo das características da dinâmica seletiva e do tempo necessário para as firma reavaliarem suas estratégias inovativas. Foi notado

também que os regimes tecnológicos pouco intensivos em P&D possuem maior propensão a concentração da produção, mesmo na ausência da hipótese de economias de escala. Nesse caso, as economias de escala e a própria concentração de mercado emergem como subprodutos da dinâmica tecnológica.

7. Referências bibliográficas

BELL, M.; PAVITT, K. Technological accumulation and industrial growth: contrasts between development and developing countries. **Industrial and Corporate Change**, n. 2, v. 2, p. 157-210, 1993.

CHIAROMONTE, F; DOSI, G. The micro foundations of competitiveness and their macroeconomic implications. In: FORAY, D.; FREEMAN, C. Technology on the wealth of nations. **The dynamics of constructed advantage**, p. 107-134, 1993.

COHEN, W.; LEVINTHAL, D. Innovation and learning: two faces of R&D. **The Economic Journal**. v. 99, p. 569-596, 1989.

CROCCO, M. A. **Uncertainty, Technical Change and Effective Demand**. Thesis of Doctorate. London: University London, 1999.

DOSI, G. Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change. **Research Polity**, n. 11, p. 147-162, 1982.

DOSI, G. Sources, procedures and microeconomic effects of innovation. **Journal of Economic Literature**, v. 26, nº 3, September, p. 1120-1171. 1988.

DOSI, G.; PAVITT, K.; SOETE, L. **The economics of technical change and International Trade**: Brighton: Wheatsheaf, 1990.

KLEVORICK, A. K.; LEVIN, R. C.; NELSON, R.; WINTER, S. On the Sources and Significance of Interindustry Differences in Technological Opportunities. **Research Policy**, p. 185-205, 1995.

LAZONICK, W. Learning and the dynamics of international and competitive advantage. In Thomson, R. **Learning and Technological Change**. New York: St. Martins Press, p. 172-197. 1993.

MALERBA, F.; ORSENIGO, L. Technological regimes and firms behaviour. **Industrial and Corporate Change**, n. 1, v. 2, p. 45-71. 1993.

_____ (1997). Technological Regimes and Sectoral Patterns of Innovative Activities. **Industrial e Corporate Change**, n. 6, v. 1, p. 83-117. 1997.

MARSILI, O.; VERSPAGEN, B. **Technological regimes and innovation: looking for regularities in dutch manufacturing**. Working Paper, ECIS. Eindhoven University of Technology, 2001.

MARSILI, O.; ORSENIGO, L. & SALVATORE, R. Learning, market selection and the evolution of industrial structures. **Small business Economics**, v. 7, nº 6, december. 1995.

NELSON, R.; WINTER, S. G. **An Evolutionary Theory of Economic Change**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University. 1982.

PAVITT, K. Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and theory. **Research Policy**, n. 13, p. 343-373, 1984.

SILVERBERG, G. Modeling Economic Dynamics and Technical Change: Mathematical Approaches to Self-Organization and Evolution. In: DOSI, G.; FREEMAN, C.; R. NELSON, R.; SILVERBERG, G.; SOETE, L. (eds), **Technical Change and Economic Theory**, London, Pinter: 531-559. 1988.

SILVERBERG, G.; DOSI, G. & ORSENIGO, L. Innovation, diversity and diffusion: a self-organization model. **Economic Journal**, v 98, n° 393, december, p. 1032-1054. 1988.

SILVERBERG, G.; VERSPAGEN, B. (1994). "Learning, Innovation and Economic Growth: a Long-run Model of Industrial Dynamics". **Industrial and Corporate Change**, v. 3, n. 1, 199-223, 1994.

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