

Complexidade e evolução: uma nota sobre a estrutura dos modelos neo-schumpeterianos*

Newton P. Bueno**

Sumário: 1. Introdução; 2. Complexidade e modelos evolucionistas; 3. Um exemplo de sistema complexo; 4. Conclusão.

Palavras-chave: modelos neo-schumpeterianos; paradigma da complexidade; evolução; irreversibilidade; auto-organização; relações de desequilíbrio.

O objetivo deste artigo é unificar três dos princípios metodológicos, logicamente equivalentes, utilizados pelos autores neo-schumpeterianos em seus trabalhos: compromisso com uma visão evolucionista do processo econômico; consideração explícita da irreversibilidade desse processo; adoção de uma perspectiva que privilegia a emergência de estruturas que surgem espontaneamente no sistema econômico via processos auto-organizativos. A apresentação unificada desses princípios permite constatar que sua adoção não decorre de uma opção metodológica arbitrária, mas do reconhecimento de que a essência dos processos econômicos não pode ser captada de outro modo.

This paper intends to show that three of the main methodological principles used by the Neo-Schumpeterians can be presented in a unified framework because they are logically equivalent concepts: the commitment to an evolutionist approach to the economic process; the explicit consideration of the irreversibility of that process; the adoption of a perspective that favors the emergence of spontaneous structures in the economic system through self organizing processes. The unification of these principles reflects more than an arbitrary methodological choice, but the acknowledgment that systems like the economic one, subject to the complexity phenomenon, cannot be studied otherwise.

1. Introdução

O objetivo deste artigo é esclarecer alguns princípios metodológicos adotados nos textos mais relevantes da literatura neo-schumpeteriana que, apesar de amplamente divulgados, nem sempre são adequadamente levados em conta pelos que utilizam esses trabalhos. São eles:

- a) compromisso com uma visão evolucionista do processo econômico;
- b) consideração explícita do tempo, isto é, da irreversibilidade envolvida na trajetória desse processo;
- c) adoção de uma perspectiva que privilegia a emergência de estruturas que surgem espontaneamente no sistema econômico, por meio de processos auto-organizativos, e não através de mecanismos ou hipóteses comportamentais relacionados à metodologia de equilíbrio, como

* Artigo recebido em maio e aceito em out. 1995. O autor agradece as sugestões de um parecerista anônimo da RBE.

** Professor do Departamento de Economia da Universidade Federal de Viçosa.

a hipótese de racionalidade substantiva,¹ tradicionalmente empregada pelos autores do *mainstream* da profissão.²

A contribuição original que se pretende dar aqui é unificar esses princípios, visto serem logicamente equivalentes, mostrando que adotá-los reflete mais do que uma simples opção metodológica dos neo-schumpeterianos: é, antes, o reconhecimento de que sistemas como o econômico, por serem sujeitos ao fenômeno da complexidade, não podem de fato ser tratados por modelos que não empreguem essa metodologia.³

O artigo está estruturado da seguinte forma: primeiro, procura-se esclarecer o conceito de complexidade, sugerindo que os sistemas econômicos, por apresentarem dinâmica complexa, exibem necessariamente evolução, irreversibilidade e auto-organização. Na seção seguinte, apresenta-se uma ilustração simples de sistema sujeito à complexidade, adaptando-se uma equação logística para sistemas biológicos para retratar o processo de transição entre paradigmas tecnológicos. O objetivo é apresentar a visão integrada dos princípios metodológicos proposta acima, para captar a essência dos modelos neo-schumpeterianos. Na conclusão, ainda que superficialmente, procura-se estabelecer pontos de contato com a teoria pós-keynesiana, sugerindo que a teoria da complexidade pode fornecer instrumental valioso para compreender a determinação do investimento sob condições de incerteza e, possivelmente, a dinâmica inflacionária em países como o nosso.

2. Complexidade e modelos evolucionistas

Segundo Dosi e Orsenigo (1988:21), os modelos neo-schumpeterianos apresentam três características básicas:

a) são evolucionistas, no sentido de que se processam através de seleção entre agentes heterogêneos que competem entre si, em condições de incerteza, pelos recursos disponíveis;

¹ A hipótese de racionalidade restrita, no entanto, não é adotada pelos neo-schumpeterianos apenas, nem principalmente como uma forma de introduzir mais realismo em seus modelos. Ela é um elemento essencial da dinâmica dos sistemas econômicos, por permitir a consideração explícita de assimetrias sem as quais nenhuma evolução seria possível.

² A teoria *mainstream* do crescimento econômico, ou teoria do crescimento endógeno, embora comece a reconhecer a necessidade de contemplar elementos como concorrência imperfeita em seus modelos, está longe ainda de fazê-lo de forma satisfatória, principalmente porque, como menciona Nelson (1994:309), não está claro como incluir tais hipóteses em modelos de equilíbrio geral. A teoria do crescimento endógeno, além disso, parece distanciar-se das preocupações fundamentais dos neo-schumpeterianos ao atribuir uma ênfase excessiva na importância do capital humano para o crescimento econômico (ver, para limitar a discussão ao publicado mais recentemente, os seguintes textos diretamente inspirados em Lucas, 1988: Glomm & Ravikumar, 1992; Galor & Zeira, 1993; Banerjee & Newman, 1993). Há, é claro, exceções a essa tendência, como Grossman e Helpman (ver Grossman & Helpman, 1994, para um resumo das proposições mais importantes), que atribuem um papel mais relevante às inovações tecnológicas como fator explicativo do crescimento de longo prazo, e Romer (1987) que destaca a importância dos *spillovers* gerados pelo investimento em capital físico. Mas é significativo que este último (Romer, 1994), um dos mais importantes teóricos do crescimento endógeno, tenha vindo recentemente a reavaliar sua posição, aproximando-se dos teóricos do capital humano. Para uma avaliação da importância dessa tendência dentro da *endogenous growth theory*, ver também Nelson (1994).

³ A opção por utilizar métodos de simulação e não sistemas passíveis de apresentar soluções analíticas decorre dessa constatação, e não de alguma deficiência congênita de especificação dos modelos neo-schumpeterianos.

b) são irreversíveis, visto que as alterações produzidas no meio ambiente pela competição entre os agentes em cada momento condicionam os mecanismos de seleção e, portanto, a evolução posterior do sistema;

c) são auto-organizativos pois as trajetórias evolutivas do sistema, mesmo resultando da interação de decisões descentralizadas e não podendo ser deduzidas a partir de condições de equilíbrio, não são aleatórias.

O padrão (teorizável) dessas trajetórias é dado, em primeiro lugar, pelas próprias características do comportamento individual (rotinas empresariais, por exemplo) e, em segundo, pela lógica interna do progresso técnico, o qual não se processa aleatoriamente, mas de acordo com certos parâmetros relativos à tecnologia (como a cumulatividade e o aprendizado envolvido na sua utilização). As rotinas e os parâmetros tecnológicos atuam, em outras palavras, como âncoras do sistema, as quais delimitam o intervalo em que as trajetórias evolutivas podem processar-se. Assim, embora seja impossível prever a trajetória específica que o sistema seguirá a partir de um certo ponto, pode-se inferir seus estados mais prováveis em razão de seu comportamento microdinâmico e dos parâmetros estruturais, isto é, pode-se deduzir teoricamente os atratores da dinâmica evolutiva do sistema.

Quando se compreende que os neo-schumpeterianos baseiam-se em um novo paradigma de análise — o da complexidade —, não é difícil entender por que seus modelos apresentam sempre essas características.⁴ Isto é assim porque as três características são logicamente equivalentes em sistemas capazes de apresentar dinâmicas complexas,⁵ no sentido de que cada uma delas decorre necessariamente das demais. Assim não há como conceber evolução sem irreversibilidade, visto ser esta que estabelece um sentido no tempo, e nem em sistemas que caminham em trajetórias de equilíbrio, pois a evolução depende da existência de variedades no sistema que podem não aproveitar eficientemente um determinado meio ambiente, mas que prosperam quando este se altera. A predominância dessas novas variedades pode levar à

⁴ O conceito de complexidade define-se rigorosamente como a incapacidade apresentada por alguns sistemas dinâmicos não-lineares de reterem as características de sua dinâmica, quando sujeitos a pequenas perturbações ou a mudanças nas funções envolvidas na sua definição. Refere-se, portanto, a sistemas que, por apresentarem instabilidade estrutural no sentido acima, desdobram-se de acordo com uma dinâmica mais rica (apresentando bifurcações e histerese) do que a dos sistemas mais simples, por exemplo lineares. Tal dinâmica não pode ser apreendida a não ser com a utilização de mapas, como o logístico sugerido à frente, ou o de Poincaré para sistemas n -dimensionais. Para uma descrição técnica dessa classe de modelos utilizados pelos neo-schumpeterianos, ver especialmente Silverberg (1988). Para uma compreensão mais intuitiva da questão da estabilidade estrutural, ver Prigogine e Stengers (1984, cap. 6). A seguinte passagem deste último texto é especialmente esclarecedora para a discussão da complexidade: "*The problem of the stability of a system vis-a-vis this kind of change [evolução biológica, ecológica ou social] may be formulated as follows: the new constituents, introduced in small quantities, lead to a new set of reactions among the system's components. This new set of reactions then enter into competition with the system's previous mode of functioning. If the system is 'structurally stable' as far as this intrusion is concerned, the new mode of functioning will be unable to establish itself and the 'innovators' will not survive. If, however, the structural fluctuation successfully imposes itself — if, for example, the kinetics whereby the 'innovators' multiply is fast enough for the later to invade the system instead of being destroyed — the whole system will adopt a new mode of functioning: its activity will be governed by a new 'syntax'.*" O conceito de complexidade, entretanto, quando usado menos formalmente em alguns campos do conhecimento, nem sempre está isento de ambigüidades. Sobre essa questão, ver Lewin (1994, cap.7).

⁵ Em sistemas mais simples, capazes de apresentar soluções analíticas bem-definidas (de equilíbrio), como no sistema newtoniano, é difícil conceber, a não ser muito artificialmente, os conceitos de tempo histórico (que requer logicamente irreversibilidade) e de evolução, visto que o universo é concebido e posto em movimento por Deus, de acordo com leis imutáveis (que podem ser descritas completamente por um sistema de equações simultâneas). A esse respeito, ver especialmente Allen (1988:96-9).

emergência de uma nova estrutura que se organiza espontaneamente, no sentido de derivar de mecanismos endógenos, mas não ao acaso, pois as condições anteriores delimitam um intervalo factível de estados alcançáveis. A evolução, portanto, só é compatível com sistemas que, embora tenham a capacidade de se auto-organizarem, e, assim, processarem-se segundo trajetórias ordenadas, não apresentam convergência para qualquer estado teórico de equilíbrio, a não ser num sentido muito fraco, já que tais estados não podem ser considerados *a priori* como mais eficientes e, por isso, mais desejáveis do que diversos outros estados concebíveis para o sistema.

3. Um exemplo de sistema complexo

A equação logística para sistemas biológicos de R. May, mencionada por Prigogine e Stengers (1984:193), e adaptada no presente trabalho para retratar o processo de transição entre paradigmas tecnológicos, ajuda a esclarecer os principais conceitos utilizados pelos neo-schumpeterianos e a captar a essência de seus modelos.

Suponha-se, para compreender o argumento básico, que a dinâmica de exploração de um determinado paradigma tecnológico⁶ seja dada pela seguinte equação em diferenças de primeira ordem:

$$N_{t+1} = (N_t (1 + rK[1 - \frac{N}{K} t]))$$

onde:

N indica o grau de exploração das oportunidades tecnológicas (K) oferecidas pelo paradigma tecnológico (medido no exemplo a seguir em termos normalizados, de modo que $N_{t+1} = K = 1$ representa a exaustão complexa das oportunidades tecnológicas);⁷

r é a variável independente do modelo (determina N) representando a taxa de inovação bruta do sistema, a qual consiste na soma da taxa de inovação incremental (ri), destinada a explorar as oportunidades tecnológicas de um certo paradigma, e da taxa de inovação radical (rr), que diz respeito às inovações, muitas vezes frustradas, que desbordam do paradigma vigente

⁶ Define-se paradigma tecnológico como o conjunto de procedimentos, oportunidades tecnológicas e conhecimentos que delimitam as trajetórias de desenvolvimento tecnológico disponíveis para um país em certo momento de sua evolução. Mais precisamente, segundo Dosi e Orsenigo (1988:16): "(...) technologies develop along relatively ordered paths shaped by the technical properties, the problem-solving heuristics and the cumulative expertise embodied in technological paradigms. Each paradigm entails a definition of the relevant problems that must be tackled, the tasks to be fulfilled, a pattern of inquiry, the material technology to be used, and the types of basic artifacts to be developed and improved (...) A technological trajectory (...) is then the activity of technological progress along the economic and technological trade-offs defined by a paradigm".

⁷ De acordo com Chiaromonte e Dosi, o progresso incremental dentro de um certo paradigma é sempre possível, no sentido de que sempre restam oportunidades inexploradas, já que os agentes não são limitados em seu comportamento inovativo por algum limite natural exogenamente dado, mas pelas histórias de sua competência inovativa (está é uma hipótese essencial para os autores neo-schumpeterianos, pois os liberta do determinismo tecnológico que a ênfase no progresso técnico como explicação do desenvolvimento econômico poderia implicar). Para os autores, entretanto, a exploração de qualquer paradigma está sujeita à progressiva exaustão de oportunidades: "This is like saying that any trajectory is characterized, in stochastic terms, by dynamic increasing returns, but at a decreasing rates" (1993:11). A hipótese de exaustão total de oportunidades tecnológicas é, obviamente, uma simplificação que não muda o sentido de flutuação das variáveis consideradas.

(r , observe-se, não é medida em termos de taxa, mas representada pelo parâmetro de controle que se faz flutuar no intervalo 0 – 2,57; taxas de inovação bruta superiores, obviamente, são representadas por valores mais próximos do limite superior);

K é uma constante que indica o grau de oportunidades tecnológicas inerente a cada paradigma tecnológico.

A dinâmica do sistema, isto é, a forma pela qual um certo paradigma será explorado, dependerá da taxa de inovação bruta, r , de uma forma não-trivial, devido à complexidade.

Para valores de r no intervalo aberto entre 0 e 2, o sistema tende a explorar integralmente o paradigma vigente, mas em velocidades diferentes. As seqüências da tabela 1 retratam a dinâmica de exploração de um paradigma K_1 ($K = 1$), supondo-se, para simplificar os cálculos, que 10% das oportunidades sejam exploradas instantaneamente no início do processo, isto é, que $N_1 = 0,10$:

Tabela 1

$r = 1,1$	$r = 1,0$	$r = 2,0$
0,1000	0,1000	0,1000
0,1090	0,1900	0,2800
0,1187	0,3439	0,6832
0,1282	0,5695	1,1161
0,1404	0,8147	0,8570
0,1525	0,9657	1,1021
0,1654	0,9988	0,8770
0,1792	1,0000	1,0927
0,1939	1,0000	0,8901
0,2096	1,0000	1,0858
.	.	.
.	.	.
.	.	.
1,0000	1,0000	1,0000
1,0000	1,0000	1,0000
1,0000	1,0000	1,0000

Considerando que o paradigma tecnológico é plenamente explorado quando $N_{t+1} = K$ (devido à normalização adotada), a taxa de inovação correspondente ao valor de $r = 1$ permite que se aproveite a totalidade de oportunidades tecnológicas propiciadas pelo paradigma representando por $K = 1$ mais rapidamente do que sob qualquer outra taxa. Taxas inferiores, em razão por exemplo de uma aversão ao risco excessiva por parte dos empresários, também

permitem a exploração completa do paradigma tecnológico, assim como taxas superiores. Mas enquanto as primeiras geram um *approach* para K qualitativamente idêntico ao obtido para $r = 1$, embora quantitativamente mais lento, as segundas produzem uma dinâmica distinta. É como se o comportamento dos agentes forçasse o sistema acima de suas possibilidades, introduzindo inovações radicais que ainda não têm chance de competir com as técnicas existentes, em razão, por exemplo, de não contarem com as externalidades derivadas da introdução conjunta de inovações correlatas, como ocorre quando um novo paradigma tecnológico se afirma.⁸ As firmas que assim procedem certamente estarão se comportando de modo ineficiente em termos estáticos, visto que, ao procurarem novos métodos produtivos ainda incapazes de se mostrarem como claramente superiores, reduzem seu comprometimento com a *best practice*, em comparação com as firmas lideradas por empresários mais conservadores. O investimento comprometido com as inovações radicais, nesse caso, subtrai recursos que poderiam ser utilizados para explorar o paradigma vigente; por isso, também sob essas taxas o ritmo de exploração do paradigma é mais lento.

Para usar a metáfora de Allen (1988), a própria existência de empresários estocásticos, que não se baseiam em cálculos estritamente racionais, faz com que o paradigma tecnológico não seja explorado tão eficientemente, isto é, tão rapidamente, como poderia ser, caso só existissem empresários cartesianos.⁹ Neste sentido, por desprezarem ou serem incapazes de explorar a *best practice*, os empresários estocásticos não são racionais no sentido neoclássico. O insucesso de suas tentativas de alcançar vantagens competitivas através de técnicas decisivamente superiores, como mostra a série correspondente a $r = 2,0$, sugere o grau de ineficiência em termos alocativos estáticos e indica que não se pode considerar as trajetórias correspondentes às taxas de inovação superiores a 1, mas iguais ou inferiores a 2, como de equilíbrio, pelo menos não no sentido neoclássico do termo.

O comportamento irracional dos estocásticos, no sentido de envolverem-se em empreendimentos não factíveis em face das condições vigentes, é, no entanto, essencial para a possibilidade de evolução do sistema. O *trade-off* entre eficiência estática e eficiência dinâmica, tantas vezes mencionado na literatura neo-schumpeteriana, espelha esse fato, isto é, que o sistema só pode evoluir se não prevalecer uma situação de equilíbrio geral estrito. Assim, um incremento mínimo na taxa de inversão bruta a partir do nível $r = 2$, refletindo um pequeno aumento da participação dos empresários estocásticos, é capaz de impulsionar o sistema para um outro paradigma tecnológico. Parece que acima desse ponto se gera uma massa crítica de inovações capazes de produzir as externalidades que tornam a nova técnica claramente superior à antiga. Mas esta capacidade é apenas potencial, visto que se não forem asseguradas outras condições, como a adaptação do aparato institucional sugerida por Freeman e Perez (1988:10), o novo paradigma pode não vingar. Para r um pouco superior a 2, por exemplo,

⁸ Este é o significado de uma exploração superior a 100% do paradigma existente: tentar fazer mais do que as circunstâncias permitem. O fato de que o *approach* para o ponto de exaustão das oportunidades tecnológicas do paradigma é oscilatório significa que muitos dos investimentos realizados são de fato descontinuados no período seguinte. Eles serão viáveis quando as condições favoráveis se manifestarem (isto é, quando se viabilizar a transição de paradigmas), mas por enquanto constituem apenas pressão excessiva sobre o paradigma existente.

⁹ Estes, na metáfora de Allen (1988:114), ponderam acuradamente a informação disponível e movem-se com probabilidade 1 para o ponto com maior atratividade, mesmo que este seja apenas marginalmente melhor do que qualquer outro.

igual a 2,01, o sistema sofre uma bifurcação,¹⁰ isto é, passa a oscilar indefinidamente entre os valores 1,0474 e 0,9476. Para N_{t+1} , a sequência de valores é a seguinte:

1,0000
0,2809
0,6869
1,1192
0,8511
1,1058
0,8706
1,0970
0,8831
.
.
.
1,0474
0,9476
1,0474
0,9476
1,0474
0,9476
.
.
.

Atingido o ponto de bifurcação, o sistema, dependendo das circunstâncias, pode “escolher” dois caminhos. Consolidar o paradigma representado por $K = 1,0474$ ou regredir para o correspondente a $K = 0,9476$. Este último caso poderia ocorrer, por exemplo, em razão de uma adesão em massa a tecnologias do novo paradigma que depois se revelam não factíveis economicamente, ou por uma incapacidade do Estado de manter um ambiente favorável ao prosseguimento da exploração do novo paradigma. O sucateamento de parte do equipamento e a interrupção do processo de aprendizagem imanentes ao antigo paradigma impediria, nesse caso, o retorno às condições anteriores. A evolução, em outras palavras, é um processo irreversível.¹¹

Suponha-se, entretanto, que a transição de paradigmas tenha sido bem-sucedida, de modo que o novo K é 1,0474. Agora a taxa de inovação (bruta) que proporciona a exploração mais rápida do novo paradigma, isto é, a trajetória tecnológica mais eficiente, é dada por $r = 1,0474$ (renormalizando $N_{t+1}(\text{max}) = K$), isto é, o ambiente mais rico em oportunidades aberto pelo novo paradigma é compatível com uma taxa de inovação maior. Mas um outro fenômeno interessante acontece. Viu-se que uma flutuação na taxa de inovação bruta acima

¹⁰ Em termos rigorosos, isto significa que neste ponto o sistema perde sua estabilidade estrutural, ou seja, a capacidade de reter as características qualitativas de sua dinâmica anterior. Ver, a respeito, Ferrara e Prado (1994:26).

¹¹ Um exemplo muito interessante da possibilidade de um sistema regredir é o fornecido por Lewin (1994) para o colapso da civilização Anasazi há cerca de mil anos, que os arqueólogos denominam de fenômeno Chaco. Por volta de 1150 d.C., essa sociedade era a mais importante civilização pré-colombiana ao norte do México. Mas quando parecia reunir todas as condições para evoluir da fase pré-Estado — *chiefdom* — para a do Estado moderno, entrou em declínio e subitamente desmoronou, por motivos que ainda parecem obscuros, em algum momento entre 1150 e 1200 d.C. Sabe-se que houve uma grande seca no período, mas como antes os anasazi já haviam resistido a secas prolongadas, este parece ser um exemplo claro de que uma mudança quantitativamente pequena nas variáveis do sistema pode levá-lo a uma mudança qualitativa fundamental, isto é, a uma bifurcação.

do nível 2,0 já era capaz de provocar uma bifurcação; agora este valor crítico é 1,93. Não esquecendo que se trata apenas de um exemplo puramente matemático, isto poderia significar que o sistema tornou-se mais apto para a inovação, de modo que nas novas circunstâncias uma modificação menor na variável de controle, r , já é capaz de provocar novo salto evolutivo. Parece que isto reflete o fato de que quanto mais rico um ambiente, maiores as possibilidades de introduzir espécies distintas, inovações radicais e incrementais, ao mesmo tempo, tal como provavelmente teria acontecido na explosão de novas espécies biológicas do período cambriano, com o advento dos organismos multicelulares (Lewin, 1994, cap. 4).

Esse fenômeno, que evidentemente tem de ser estudado mais detalhadamente, reflete uma característica fundamental dos sistemas evolutivos: o fato de sua dinâmica ser *path-dependent*. Isto significa que as modificações estruturais obtidas em cada instante, além de serem irreversíveis, condicionam os resultados produzidos pelo comportamento individual nos momentos seguintes da trajetória evolutiva. Não parece exagerado imaginar que isto possa explicar a evolução tecnológica de países que, embora partindo de condições semelhantes, como por exemplo a Coreia do Sul e o Brasil nos anos 50, passam a apresentar crescente divergência em seus padrões tecnológicos e níveis de renda *per capita* a partir de certa fase do processo.

Apenas para fixar a importância desse resultado, observe-se que, se o sistema tivesse “escolhido” o estado caracterizado por $K = 0,9476$ na bifurcação ocorrida inicialmente, ele só poderia retomar uma trajetória ascendente para o valor de $r = 2,15$, em vez de $r = 1,93$. Mesmo assim, isto é, se lograsse atingir essa taxa de inovação, o sistema só poderia a partir daí alcançar o paradigma correspondente ao nível de oportunidade tecnológica, K , igual a 1,0293. Isto significa que se torna cada vez mais difícil para o sistema, uma vez “escolhido” o caminho “errado”, recuperar o tempo perdido, o que reforça a intuição de ampliação da divergência entre países, mencionada acima.

Dever-se-ia concluir dos resultados obtidos até agora que uma taxa de inovação bruta maior, correspondente a um patamar elevado de rr , seja sempre preferível para uma sociedade? A metodologia da complexidade permite responder inequivocamente que não.¹²

Reconsidere-se, por exemplo, o paradigma $K = 1$. Viu-se que taxas de inovação bruta superiores a 2,0 podem produzir evolução (embora possam também fazer o sistema regredir). Para valores de r maiores ou iguais a 2,50 e menores ou iguais a 2,57, um comportamento muito menos ordenado começa a emergir. Para r igual a exatamente 2,50, ocorre uma bifurcação dupla. O sistema passa a oscilar entre os valores $N_{t+1} = 1,2250, 0,5359, 1,1577$ e $0,7012$. Em $r = 2,55$, ocorre uma bifurcação quádrupla, e assim por diante,¹³ até que para valores superiores a 2,57 o comportamento torna-se absolutamente caótico, isto é, aparentemente destituído de qualquer padrão observável.

¹² Para Allen (1988:116), por exemplo, uma proporção adequada de agentes que, em vez de inovar, exploram ao limite o paradigma tecnológico existente é fundamental para a eficiência do sistema: “The fundamental point raised in this chapter is that discovery and innovation can only be achieved by going ‘beyond’ the present system. We require ‘stochasts’ who, for whatever reason, do not respond simply to the information which exists about the present returns on effort. The ‘cartesians’, on the other hand, are the backbone of the system. They represent ‘normality’, and also will be the ones who push any particular activity to its ultimate in excellence. The success of the overall system will be determined by the balanced existence of the two types, and the manner in which new information is channelled into the system, while the adaptive capacity of a system lies in its ‘stochasts’, the stability, and efficient performance resides with the ‘cartesians’. A harmonious system must allow ‘discoveries’ to recuperate their search costs, and this will depend critically on the time of ‘monopoly’ allowed to them”.

¹³ Segundo a sequência de Feigenbaum. Ver, entre outros, Ekeland (1988:201).

A questão é: poderiam os sistemas econômicos evoluir para tal situação? Para o *mainstream*, as hipóteses extravagantes dos autores heterodoxos, tal como racionalidade restrita e ausência de equilíbrio, certamente conduziram a um mundo assim, imprevisível e, portanto, não passível de análise teórica. Se os agentes não estivessem restritos pelo princípio da maximização, a taxa de inovação radical poderia ser alta demais, o que conduziria o sistema a uma situação de indeterminação. Além disso, descartar a hipótese de que o sistema apresenta as convexidades necessárias, como rendimentos decrescentes, reduziria significativamente a capacidade de derivar proposições gerais sobre os sistemas econômicos.

Os neo-schumpeterianos ou evolucionistas econômicos não pensam assim. As assimetrias interfirmas, tecnológicas e de procedimentos, que caracterizariam uma situação de desequilíbrio para os neoclássicos, não são apenas dados da realidade, mas elementos essenciais para a evolução do sistema econômico, como se já viu. Por isso, não podem ser descartadas sem “jogar fora o bebê com a água do banho”. O que eles tentam mostrar é que, mesmo partindo da hipótese de racionalidade restrita e descartando a metodologia equilibrista, a interação entre os agentes econômicos não produz o caos, mas dá-se segundo padrões ordenados.¹⁴ Isto é, o comportamento dos agentes é tal que mantém a variável independente (ou de controle), r , em uma determinada faixa, digamos entre os valores 1,0 e 2,5, de modo a ser possível a exploração dos paradigmas tecnológicos, ou, em certas circunstâncias e de forma teorizável, sua superação. A evolução econômica, portanto, embora não se processe segundo trajetórias de equilíbrio, produz padrões teorizáveis, aos quais os evolucionistas denominam estados que se auto-organizam.

Por que, mais especificamente, a taxa de inovação bruta não pode flutuar o suficiente para gerar situações caóticas? Para alguns, como Chiaromonte e Dosi (1993) e Silverberg, Dosi e Orsenigo (1988), considerados autores microdinâmicos, características próprias do processo de geração e difusão de tecnologia impõem aos agentes um comportamento racional, mas não no sentido neoclássico, no processo de introdução de inovações. Assim, os mecanismos de seleção via mercado, os ganhos de produtividade advindos da aprendizagem derivada do uso continuado de uma certa tecnologia (*learning by doing*) e as condições de apropriabilidade de lucros extraordinários gerados pelas inovações, definidas principalmente pela estrutura de mercado do qual a firma participa, definem uma certa taxa de inovação bruta que flutua dentro de uma faixa que gera padrões globais ordenados. No segundo texto citado acima, por exemplo, os autores fazem simulações para a taxa de difusão tecnológica produzida a partir de diversos valores dos parâmetros representativos dos coeficientes de apropriabilidade e de aprendizagem. A conclusão é que, embora a taxa de difusão aumente com os valores desses parâmetros, ainda assim observa-se um padrão bastante regular, na forma de uma curva em S, para o processo. Se a taxa de difusão foi considerada, na prática, como a taxa de inovação incremental, pode-se concluir que quanto mais alta foi esta, menor será, ce-

¹⁴ Segundo Nelson e Winter (1982:227) em seus modelos, que são a principal referência dos modelos neo-schumpeterianos em geral: “Although the firms (...) respond to profitability signals in making technique changes and investment decisions, they are not maximizing profits. Their behavior could be rationalized equally well (or poorly) as pursuit of the quiet life (since they relax when they are doing well, and typically make only small changes of technique when they do change) or of corporate growth (since they maximize investment subject to a payout constraint). Neither does our model portray the economy as being in equilibrium. At given time, there exists considerable diversity in techniques used and in realized rates of return. The observed constellations of inputs and outputs cannot be regarded as optimal in the Paretian sense: there are always laggard firms using technologies less economical than current best practice”.

teris paribus, a taxa de inovação radical. Assim, quanto mais elevados os parâmetros de controle, mais rápida será a taxa de inovação incremental e menores os estímulos para explorar tecnologias alternativas ao paradigma tecnológico vigente.

Assim, conclui-se aqui, é provável que o valor de r se situe durante um período bastante longo num patamar muito próximo do de K na equação logística de R. May adaptada neste artigo, proporcionando uma exploração eficiente do paradigma em questão. Mas, à medida que o processo se desenvolve, as oportunidades tecnológicas diminuem e algumas firmas passarão a aumentar sua taxa de inovação radical. Quando essa flutuação se mostrar suficientemente ampla, o sistema se deslocará para um novo paradigma, no qual as firmas tenderão a se fixar pelos mesmos motivos expostos acima.

Já para os neo-schumpeterianos macrodinâmicos, por exemplo para C. Freeman e C. Perez (1988), o principal fator de estabilidade para r encontra-se na relativa inflexibilidade do aparato institucional em adaptar-se a modificações no paradigma tecno-econômico. Assim, a taxa de inovação não pode flutuar muito, pois neste caso produzir-se-ia um *mismatch* entre este paradigma e as instituições vigentes nos países em questão.

Não há necessidade aqui de resenhar mais exaustivamente os principais textos neo-schumpeterianos. O que se pretendeu enfatizar foi o *framework* teórico subjacente à estratégia de modelagem evolucionista. Este, para resumir, pode ser definido como um paradigma de análise que considera as relações de desequilíbrio não apenas como dados da realidade, mas como elementos essenciais da evolução. Neste sentido, todos os modelos neo-schumpeterianos consideram que os estados distantes do equilíbrio são momentos muito mais ricos da história dos sistemas econômicos do que aqueles onde teoricamente prevaleceriam as condições pressupostas pelos autores do *mainstream*, porque é nestes momentos que a evolução se processa.¹⁵

O objeto da ciência econômica, desse ponto de vista, torna-se muito mais relevante. Pois não se trata mais apenas, nem principalmente, de estudar como os agentes individuais exploram o ambiente existente, mas como, procurando fazer isso em condições de incerteza, eles acabam por transformá-lo contínua e irreversivelmente. É exatamente por isso que não se pode avaliar a riqueza dos modelos evolucionistas contemplando-os com o instrumental analítico convencional apoiado basicamente na análise de sistemas lineares capazes de gerar soluções analíticas. Tudo indica que o que realmente importa não são tanto as soluções exatas que esses sistemas possam gerar, mas como a forma dessas equações resiste ou não às perturbações geradas pelas flutuações longe do equilíbrio. A teoria da complexidade, da qual se procurou dar uma notícia preliminar neste trabalho, parece especialmente bem equipada para esta tarefa.

¹⁵ Um sistema em um estado distante do equilíbrio, segundo Prigogine e Stengers (1984:176), "(...) may be described as organized not because it realizes a plan alien to elementary activities, or transcending them, but, on the contrary, because the amplification of a microscopic fluctuation occurring at the 'right moment' resulted in favoring one reaction path over a number of other equally possible paths. Under certain circumstances, therefore, the role played by individual behavior can be decisive. More generally, the 'overall' behavior cannot in general be taken as dominating in any way the elementary processes constituting it. Self-organization processes in far-from-equilibrium conditions correspond to a delicate interplay between chance and necessity, between fluctuations and deterministic laws. We expect that near a bifurcation, fluctuations or random elements would play an important role, while between bifurcations the deterministic aspects would become dominant".

4. Conclusão

Procurou-se mostrar neste artigo que os modelos neo-schumpeterianos não podem ser compreendidos adequadamente fora do paradigma analítico da complexidade. Este termo refere-se à propriedade dos sistemas não-lineares de gerarem dinâmicas complexas a partir de especificações relativamente simples.

Tais trajetórias, embora complicadas e muitas vezes contra-intuitivas, conformam, sob situações bastante realistas, padrões que aparentemente emergem da própria dinâmica do sistema. Por isso, os sistemas capazes de apresentar essas regularidades são denominados sistemas auto-organizativos. Esse é o caso dos sistemas econômicos, como argumentam os neo-schumpeterianos. Por serem desse tipo, além disso, os sistemas econômicos são necessariamente evolucionários e sujeitos à irreversibilidade. Os três conceitos, em outras palavras, são logicamente equivalentes.

Neste artigo procurou-se demonstrar essa equivalência. Mostrou-se, além disso, que não é por acaso que os neo-schumpeterianos utilizam uma estratégia de modelagem apoiada essencialmente em métodos de simulação. A compreensão de que as relações econômicas processam-se de forma complexa sugere que a metodologia tradicional de tratar a dinâmica econômica, baseada na solução exata ou analítica de sistema de equações diferenciais, é, no máximo, de pouca relevância teórica. Muito mais importante é estudar como estes sistemas resistem ou não a perturbações como as mudanças tecnológicas. Tais perturbações, nos modelos neo-schumpeterianos, são geradas por flutuações de alguns parâmetros-chave do sistema, como o grau de oportunidades tecnológicas ou o *animal spirit* dos empresários, as quais, dadas as rotinas empresariais, determinam a taxa de inovação. A opção por métodos de simulação, que permitem estudar o efeito dessas flutuações, não decorre, portanto, de uma dificuldade em especificar corretamente os modelos neo-schumpeterianos, como algumas vezes se insinua dentro do *mainstream*, mas da convicção de que os aspectos realmente fundamentais do processo econômico, como a mudança tecnológica, só podem ser apreendidos por esta via.

Uma última observação: a referência keynesiana ao *animal spirit* dos empresários não é casual. Tudo indica que a teoria da complexidade possa contribuir de forma importante para o tratamento da incerteza e das flutuações no comportamento empresarial, produzidas por mudanças no julgamento convencional. A teoria, para resumir, parece abrir novas possibilidades para lidar com a incerteza de um modo endógeno, mas dentro do espírito keynesiano, isto é, sem reduzi-la ao conceito de risco. Os autores pós-keynesianos, como Cardim de Carvalho, para mencionar um mais próximo, de fato parecem incorporar crescentemente alguns dos conceitos-chave da teoria da complexidade, como flutuações, mudança de regimes inflacionários etc. (Feijó & Carvalho, 1992; Carvalho, 1990). É difícil dizer se o fazem de forma deliberada, mas certamente isto sugere que muito progresso pode ser feito neste campo com uma utilização mais rigorosa da teoria da complexidade.

Referências bibliográficas

Allen, P. M. Evolution, innovation and economics. In: Dosi, G. et alii (eds.). *Technical change and economic theory*. London, Francis Pinter, 1988.

Banerjee, A. & Newman, A. Occupational choice and the process of development. *Journal of Political Economy*, 101(2), Apr. 1993.

- Carvalho, F. Cardim de. High inflation, hyperinflation and coordination. A post-keynesian view. Rio de Janeiro, Universidade Federal Fluminense, 1990. (Texto para Discussão, 36.)
- Chiaromonte, F. & Dosi, G. In: Foray, D. & Freeman, C. (eds.). *Technology and the wealth of nations*. London, OECD, 1993.
- Dosi, G. & Orsenigo, L. Coordination and transformation: an overview of structures, behaviours and change in evolutionary environments. In: Dosi, G. et alii (eds.). *Technical change and economic theory*. London, Francis Pinter, 1988.
- Ekeland, I. *El cálculo, lo imprevisible — las figuras del tiempo de Kepler a Thom*. México, Fondo de Cultura Económica, 1988.
- Feijó, C. A. & Carvalho, F. Cardim de. The resilience of high inflation: recent Brazilian failures with stabilization policies. *Journal of Post Keynesian Economics*, 15(1), Fall 1992.
- Ferrara, N. F. & Prado, C. P. Cintra do. *Caos — uma introdução*. São Paulo, Edgar Blucher, 1994.
- Freeman, C. & Perez, C. Structural crisis of adjustment: business cycles and investment behaviour. In: Dosi, G. et alii (eds.). *Technical change and economic theory*. London, Francis Pinter, 1988.
- Galor, O. & Zeira, J. Income distribution and macroeconomics. *Review of Economic Studies*, 60, 1993.
- Glomm, G. & Ravikumar, B. Public versus private investments in human capital: endogenous growth and income inequality. *Journal of Political Economy*, 100(4), Aug. 1992.
- Grossman, G. & Helpman, E. Endogenous innovation in the theory of growth. *Journal of Economic Perspectives*, 8(1), 1994.
- Lewin, R. *Complexidade — a vida no limite do caos*. Rio de Janeiro, Rocco, 1994.
- Lucas, R. On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, July 1988.
- Nelson, R. What has been the matter with neoclassical growth theory. In: Silverberg, G. & Soete, L. *The economics of growth and technical change*, 1994.
- & Winter, S. *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge (Mass.) and London, Harvard University Press, 1982.
- Prigogine, I. & Stengers, I. *Order out of chaos — man's new dialogue with nature*. New York, Bantam Books, 1984.
- Romer, P. Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, Oct. 1986.
- . Crazy explanations for the productivity slowdown. In: Fischer, S. *NBER Macroeconomic Annual*. Cambridge, Mass., MIT Press, 1987.
- . The origins of endogenous growth. *Journal of Economic Perspectives*, 8(1), Winter 1994.
- Silverberg, G. Modelling economic dynamics and technical change: mathematical approaches to self-organization and evolution. In: Dosi, G. et alii. *Technical change and economic theory*. London, Francis Pinter, 1988.
- ; Dosi, G. & Orsenigo, L. Innovation, diversity and diffusion: a self-organization model. *The Economic Journal*, 98, Dec. 1988.