

# **Sistemas Abertos em Economia: não-linearidade e formalização a partir de contribuições da abordagem evolucionista da mudança tecnológica**

Rosana Icassatti Corazza<sup>1</sup>

Paulo Sérgio Fracalanza<sup>2</sup>

## **Abstract**

*In the recent economic literature, especially from the 80's, it is possible to recognize a certain tendency towards the acknowledgement of the economic systems as open systems behaving far from equilibrium. This is a methodological choice whose features encompass uncertainty and complexity and in which dynamics allows the emergence of path dependence and nearly unpredictable fluctuations. Moreover, the admission of evolution as an open process, where structures can be created, changed or destroyed, implies that institutional and historical context matter. The purpose of this paper is to recover some concepts for the comprehension of open systems and to discuss, in the context of the technical change evolutionary approach, some implications that this methodological choice may entail on mathematical formalization.*

## **Keywords**

*Open systems; non-linearity; methodology; evolutionary economics; technical change*

## **Resumo**

*Na literatura econômica recente, especialmente a partir dos anos 80, é possível reconhecer uma certa tendência de reconhecimento dos sistemas econômicos como sistemas abertos cujo comportamento tende ao distanciamento do equilíbrio. Esta é uma opção metodológica cujas características mais intrínsecas envolvem a incerteza e a complexidade e ainda cuja dinâmica permite a emergência de path dependence e de flutuações nem sempre previsíveis, sendo sua evolução um processo aberto, onde as estruturas podem ser criadas, modificadas ou destruídas, num processo em que as condições iniciais, institucionais e históricas por exemplo, importam. O objetivo deste artigo é recuperar conceitos fundamentais para a compreensão dos sistemas abertos e discutir, a partir do caso das contribuições da abordagem evolucionista da mudança tecnológica, algumas das implicações da adoção desta opção metodológica para a formalização matemática.*

## **Palavras-chave**

*Sistemas abertos; não-linearidades; metodologia; economia evolucionista; mudança tecnológica*

---

<sup>1</sup> Professora das Faculdades de Campinas (FACAMP). [rosanacorazza@uol.com.br](mailto:rosanacorazza@uol.com.br)

<sup>2</sup> Professor do Instituto de Economia (IE/Unicamp) e das Faculdades de Campinas (FACAMP). [fracalan@eco.unicamp.br](mailto:fracalan@eco.unicamp.br)

## Introdução

Na mesa de abertura do VIII Encontro Nacional de Economia Política, realizado em Florianópolis em 2003, a Prof.a. Victoria Chick argumentava que o sentimento, por muitos esposado, de um crescente distanciamento da economia da realidade residia, em alguma medida, no fato de que muitos dos desenvolvimentos teóricos em Economia estiveram fundados, sobretudo no *mainstream*, na concepção dos sistemas econômicos como *sistemas fechados*.

Naquela ocasião, a professora definiu um *sistema fechado* como “um sistema completo e essencialmente inalterável [...]; um sistema material no qual a massa total ou energia permanece constante; um domínio auto-contido, não afetado por forças externas.” (Chick, 2003:11).

As características fundamentais de um tal sistema são elencadas pela autora a partir de Dow (2002, *apud* Chick, 2003): i) todas as variáveis relevantes podem ser conhecidas; ii) as fronteiras do sistema podem ser especificadas, de tal forma a deixar claro quais são as variáveis exógenas e quais são as endógenas (sendo fixas tais categorias); iii) apenas as variáveis exógenas especificadas afetam o sistema, fazendo-o de forma “predeterminada”; iv) as relações entre as variáveis podem ser conhecidas ou aleatórias; v) os componentes são separáveis (independentes, atomísticos), sendo sua natureza constante; vi) a estrutura das relações entre componentes é conhecida.

De outra parte, definidos pela autora de maneira propositadamente simples como “uma rede, uma estrutura com conexões, dentro da qual os agentes atuam, principalmente de maneiras que reproduzem e reforçam o sistema, mas, ocasionalmente, de maneiras que o levam a evoluir” (Chick, 2003:9), os *sistemas abertos* podem representar, conforme nos relembra Chick, tanto fenômenos do “mundo real” como elaborações teóricas.

De forma especial, o cerne do interesse da Professora Victoria Chick por esta discussão, traduzida pelas Professoras Ana Maria Bianchi e Leda Paulani para subsequente publicação na revista da SEP, residia na tentativa de apresentação da Teoria Geral de Keynes como um estudo de caso representativo de um sistema teórico aberto.

O objetivo deste artigo consiste em apresentar uma contribuição para o debate sobre sistemas abertos em economia, no sentido de aportar mais elementos conceituais e de trazer algumas considerações sobre as perspectivas de formalização, inclusive matemática, de sistemas abertos cujos comportamentos não podem ser representados como lineares.

O arrazoado que subjaz à organização do artigo se fundamenta na compreensão do problema em duas instâncias: de um lado, num primeiro tempo, a idéia é explorar a abordagem de sistemas econômicos como *sistemas abertos* como uma transição na “visão de mundo” em termos da compreensão da natureza dos fenômenos em questão; de outro lado, trata-se de refletir, num segundo momento, sobre as possibilidades de representação formal, e matemática, dos processos.

As considerações finais são dedicadas problematizar algumas implicações positivas e normativas para o delineamento de políticas públicas que podem ser derivadas da adoção de uma abordagem dos sistemas econômicos como sistemas abertos, o que envolve, explicitamente, o reconhecimento do caráter contingente e falível do conhecimento produzido.

## **1. Sistemas econômicos como sistemas abertos**

O objetivo desta seção é recuperar conceitos fundamentais para a concepção de sistemas econômicos como sistemas abertos.

Podemos definir um sistema fechado de maneira muito simples como um sistema que não realiza trocas com o meio ou com outros sistemas, que não é afetado por ele(s) e que por sua vez não o(s) afeta. De acordo com Georgescu-Roegen (1995), é a possibilidade de trocar matéria e energia com seu ambiente que define se um sistema é aberto ou fechado.

Sistemas fechados tendem a um máximo de entropia, ou de desorganização. Neste sentido, nas palavras de Saviotti (2000), o sistema perde estrutura, na forma da perda de “elementos distinguíveis ou diferenciáveis”.

Já num sistema aberto pode haver trocas de matéria, energia e informação através das fronteiras. Neste sentido, um organismo ou ser vivo pode ser compreendido como um sistema aberto que consegue energia do ambiente. Esta energia, em forma de alimento, é processada na constituição das próprias estruturas de tecidos e órgãos do ser vivo, portanto, na organização de formas de menor entropia. Um ser vivo transforma energia em matéria altamente organizada e devolve ao meio ambiente resíduos de alto grau de entropia. O ser vivo, portanto, organiza-se a partir do aporte de energia química (de baixa entropia), e nesse processo, *diferencia-se, evolui e ganha estrutura*. Se analiticamente imaginarmos uma fronteira designando agora o sistema

organismo-ambiente, podemos considerar este como um sistema fechado e não é difícil perceber que o ambiente (caso seja ele próprio fechado) tenderá a um máximo de entropia.<sup>3</sup>

Para fins da compreensão de fenômenos naturais e mesmo sociais, são fundamentais as delimitações do que é o sistema objeto do estudo e do que pode ser compreendido como “externo” a este sistema. Georgescu-Roegen (1995:78) adverte que “não há nenhuma análise rigorosa possível de um processo material, seja nas ciências naturais ou em economia, sem uma representação analítica clara e global de um tal processo. Esta representação deve em princípio incluir sua delimitação – fronteira abstrata que separa o processo de seu “meio” – e sua duração.”

É precisamente nestas representações sobre as “fronteiras” entre o sistema que se configura como objeto de estudo e o meio que residem algumas das opções metodológicas que estão nas raízes do pensamento econômico dominante. A concepção de modelos econômicos, a partir do século XIX, inspirados pelos desenvolvimentos da mecânica clássica de Newton é hoje amplamente reconhecida como resultado desta influência epistemológica da Física sobre a Economia (Vercelli, 1994; Georgescu-Roegen, 1995; Ruth, 1996; Cerqueira, 2000; Faria, 2000).

As variáveis examinadas pela mecânica, conforme as apresenta Georgescu-Roegen (1995), apenas compreendem a massa, a velocidade e a posição, aplicando sobre elas os conceitos de energia potencial e cinética. Assim, do ponto de vista da mecânica, são tidos como constantes a massa e a energia mecânica total (potencial e cinética). Desta forma, o princípio da conservação da energia é retido pela mecânica, que volta-se para o estudo do movimento e da mudança da repartição entre os dois tipos de energia. Ao comentar a maneira pela qual Marshall incorporou este princípio da conservação da energia sob inspiração da mecânica clássica newtoniana, “adicionando que o Homem pode produzir ‘utilidades’ deslocando e arranjando a matéria” (p. 79), o autor enfatiza que o economista ignorou que, ao fazê-lo, todo elemento de matéria e todo elemento de energia devem sair do processo exatamente na mesma quantidade e na mesma qualidade em que entrou.

Seja como for, desposar a mecânica clássica, seus princípios e suas ferramentas, tem oferecido às Ciências Econômicas por mais de um século a possibilidade de elaborar um amplo conjunto de conceitos admiravelmente articulados internamente e elegantemente formalizados

---

<sup>3</sup> O fato de que os sistemas podem ser considerados como aninhados de forma imbricada (a célula é um sub-sistema de um tecido que é um sub-sistema aberto e aninhado em um órgão que por sua vez é um sub-sistema de um organismo e assim por diante), será sempre necessário definir analiticamente as “fronteiras” entre o sistema em causa e seu ambiente. (Cf. Fuchs, 2002).

para explicar aqueles fenômenos que ela elegeu como *core* de sua atividade científica: a alocação de recursos escassos, as decisões de produtores e consumidores e, sobretudo, os mecanismos de coordenação entre unidades de decisão descentralizadas.

O recurso a sistemas fechados produziu grandes contribuições ao pensamento econômico e pode-se dizer que ainda predomina nas análises econômicas, sobretudo no *mainstream*. Sem demasiado rigor, podemos dizer, como de certa forma indica Cerqueira (2000), que sempre que os fenômenos em análise forem passíveis de reversão, não existindo espaço para tratamento de mudanças qualitativas, não havendo possibilidades de bruscas rupturas e, portanto, quando o tratamento do tempo nos modelos não contemplar sua dimensão “histórica”, estaremos diante de análises que tomam os referidos fenômenos como processados em sistemas fechados.

Uma característica deste tipo de análise, que acabou se convertendo em uma espécie de “princípio organizador” das teorias econômicas como o chamou Cerqueira (2000), é a sua tendência para um ponto de equilíbrio. Num sistema fechado, existe uma tendência para um estado de equilíbrio que corresponde a um máximo possível de desordem e homogeneidade, numa perspectiva determinística.

Neste sentido, Cerqueira (2000:14) traz um pequeno elenco de abordagens que se apoiam no tratamento dos fenômenos econômicos a partir da consideração de sistemas fechados quando menciona o equilíbrio como “princípio organizador” das teorias econômicas: a Lei de Say, o Equilíbrio Geral de Walras, o Equilíbrio Parcial de Marshall e o Modelo IS-LM de Hicks.

Não é original a idéia de que ocorre uma mudança de visão de mundo em diversas áreas científicas que atinge de algum modo, enfim, as Ciências Econômicas.<sup>4</sup>

As idéias da mecânica clássica desposadas pelos economistas fazem parte, argumenta Saviotti (2000), de uma visão de mundo que se encontra em processo de mudança. Conforme ressalta o autor, em meados do século XIX, a humanidade pensava estar habilitada a conhecer o universo, acreditando que tanto seus componentes básicos como suas interações já eram conhecidas. Esta concepção de universo, caracterizado como determinístico, reversível e calculável, foi mais tarde chamada de “sonho Laplaciano”, em função de ter Pierre Simon Laplace tentado conceber uma formulação matemática sistemática das teorias de Newton (Saviotti, 200:3). É esta visão de mundo, determinístico, reversível e calculável, que vem se alterando, de acordo com Saviotti (2000), que identifica nas teorias da complexidade a alternativa

---

<sup>4</sup> Cf., por exemplo, Vercelli (1994), Ruth (1996), Gowdy (1997), Foster (1997, 2000) e Saviotti (2000).

ao “sonho Laplaciano”. Embora estas ainda não se configurem como um corpo teórico completo e unificado, o autor atribui a elas franquear-nos uma visão de um mundo bem mais complexo do que críamos existir anteriormente. Um mundo cuja teorização tem sido caracterizado com expressões, cada vez mais presentes na literatura especializada, como incerto e complexo. Desta forma, estas alternativas teóricas nos permitiriam compreender que o universo tem uma extensão consideravelmente maior do que anteriormente supúnhamos e que, mesmo sendo extenso o conhecimento que temos hoje, não temos expectativas de poder conhecê-lo todo.

Cabe neste momento explicitar diretamente a questão: como e por que podem ser os fenômenos econômicos objeto de investigação a partir de abordagens de sistemas abertos?

Em seu capítulo sobre modelagem da dinâmica econômica no tão conhecido livro de Dosi *et al* (1988), Silverberg (1988) ressaltava que desde o sentido biofísico um sistema econômico é um sistema aberto, na medida em que depende de *inputs* de energia, matéria e informação de sorte a manter o processo do fluxo circular que é tradicional objeto da análise econômica.

Para compreender algumas implicações das distinções entre os sistemas fechados e abertos para a investigação no campo das Ciências Sociais vale a pena retomar a argumentação de Saviotti (2000).

Saviotti (2000) propõe que imaginemos a transição para um sistema aberto a partir de um sistema fechado pelo progressivo grau de abertura e pelas crescentes trocas que o sistema realiza com seu ambiente. Neste movimento, o equilíbrio do sistema será perturbado, levando a uma variedade de resultados possíveis. Fazem parte dos resultados possíveis, de um lado, a instabilidade ou turbulência e, de outro, o alcance de um ou mais estados estacionários, caracterizado pela invariância de um número das propriedades do sistema.<sup>5</sup> Potencialmente, o sistema estará tanto mais distante do equilíbrio quanto maior a taxa de trocas com seu ambiente.

O autor adverte que estes estados estacionários não devem ser confundidos com os estados de equilíbrio alcançados pelos sistemas fechados, pois embora tanto uns quanto outros apresentem uma invariância temporal de algumas de suas propriedades, o equilíbrio é caracterizado, como já mencionamos anteriormente, por um grau máximo de desordem (entropia), o que não é necessariamente verdadeiro no caso do estado estacionário. Rumo à posição de equilíbrio, um sistema fechado se desorganiza, perdendo suas estruturas, perdendo riqueza qualitativa e ganhando homogeneidade.

---

<sup>5</sup> Voltaremos a este ponto na segunda seção deste artigo.

De forma muito diferente do que ocorre num sistema fechado, as alterações dentro de um sistema aberto, que o afastam do equilíbrio, correspondem à aquisição ou à transformação de estruturas, que são identificadas pela existência de componentes distinguíveis e separáveis que ganham complexidade dentro do sistema. Em outras palavras, esta dinâmica segue rumo a uma heterogeneidade sistêmica.

Aí está um ponto de fundamental interesse na representação de fenômenos sócio-econômicos a partir da noção de sistemas abertos e que é trabalhado de forma muito clara por Saviotti (2000).

Seguindo o raciocínio do autor, podemos dizer que a caracterização dos fenômenos sócio-econômicos envolve a apreensão de estruturas de elevada organização, que tendem a se modificar no curso do tempo em razão de trocas entre sub-sistemas. Nesse processo, estruturas pretéritas (que poderiam, segundo compreendemos, ser identificadas concretamente a firmas e outras organizações congêneres, a formas diversas de organização sócio-econômica e a instituições sociais e jurídicas, por exemplo) podem ser alteradas ou simplesmente desaparecer.

Neste sentido, nos alinhamos à posição do autor quando avalia os benefícios da interpretação dos fenômenos sócio-econômicos a partir de sistemas abertos, pois se tanto a criação de estrutura quanto suas mudanças apenas podem observadas em sistemas abertos, concordamos com o autor de que grande parte das análises mais promissoras em Economia deve contemplar a configuração dos sistemas econômicos como sistemas abertos.

Enfocamos alhures (Corazza e Fracalanza, 2004), a transformação do pensamento evolucionista no sentido de, ultrapassando as analogias biológicas, fazer recurso aos aportes mais recentes da Teoria da Evolução Biológica, inclusive com a incorporação de conceitos da Termodinâmica que facultam o tratamento da dinâmica da mudança em Economia a partir da consideração dos sistemas econômicos como sistemas abertos. Gostaríamos de ressaltar, portanto, mais uma vez que não se trata de abandonar uma analogia biológica, que se foi evidenciando de certa forma simplista, por uma outra, por assim dizer mais “atualizada”. A complexidade e mesmo a própria natureza dos fenômenos sócio-econômicos nos preveniriam contra o emprego de uma “analogia termodinâmica”.

Mas ao adotar a perspectiva segundo a qual fenômenos econômicos podem ser compreendidos a partir de uma abordagem de sistemas abertos, é lícito supor que teremos

algumas implicações sobre as possibilidades de formalização matemática. Tecemos algumas reflexões sobre este ponto na próxima seção.

## **2. Formalização matemática: reflexões a partir da abordagem evolucionista da mudança tecnológica**

Nesta seção, optamos por iniciar nossa reflexão com uma incursão sobre considerações a respeito de alguns dos desenvolvimentos formais no campo de investigação da economia neoschumpeteriana, sobretudo com o uso de sistemas não-lineares. Partindo de uma breve apresentação do contexto em que emerge o uso de tais sistemas na Física, nos debruçamos, a seguir, sobre a distinção entre determinismo e imprevisibilidade, para finalmente tratar a questão central da formalização matemática no campo da abordagem evolucionista da mudança tecnológica.

Ao examinar o que chama de “crise metodológica do reducionismo clássico” da Macroeconomia, Vercelli (1994) distingue o paradigma científico da mecânica clássica como “profundamente reducionista” pelas seguintes razões: a) seu objeto de análise se restringe à locomoção (sendo as evoluções genéticas ou teleológicas atribuídas ao campo da metafísica); b) o referencial básico da “dinâmica” são os equilíbrios estáveis, uma vez que representavam posições mais invariantes; c) embora reconheça a possibilidade da existência de equilíbrios instáveis, sua análise não é considerada relevante, uma vez que são considerados como posições efêmeras e mesmo não observáveis; d) a natureza é considerada estritamente determinística; e e) o tempo é tomado como plenamente reversível, sendo as leis naturais tomadas como invariáveis no tempo.

O início dos sintomas de uma crise metodológica na física clássica é identificado, segundo relembra Vercelli (1994), no final do século XIX, quando Poincaré e Bruns demonstraram a impossibilidade de se provar a estabilidade do sistema solar por meio de métodos quantitativos, impasse que é solucionado por Hadamard em 1898 como consequência da instabilidade do sistema solar, o que é característico de qualquer sistema dinâmico que inclua mais de três corpos (ou sub-sistemas). Este foi, de acordo com Vercelli (1994) o dilema que ensejou o desenvolvimento de novas técnicas não-lineares para o estudo dos problemas complexos da dinâmica: qualitativas (em particular a topologia diferencial) e estocásticas (em especial a teoria ergódica).



O desenvolvimento da dinâmica não-linear, como explica Vercelli (1994), foi lento e marginal, sendo que uma teoria das oscilações não-lineares foi plenamente desenvolvida nos anos vinte com o intuito de controlar e desenhar circuitos de rádio. A dinâmica não-linear apenas deixou de ser marginal, afirma o autor, no início dos anos setenta, quando acadêmicos de diversas áreas científicas passaram a se dedicar ao estudo de sistemas cujos comportamentos poderiam ser caracterizados como dinâmicos e não-lineares e cuja teorização passou a receber epítetos criativos como Teoria das Catástrofes, Teoria do Caos, Teoria dos Fractais e Dinâmica Complexa.

Vercelli (1994) pondera que a difusão mais significativa entre os economistas do interesse pela dinâmica não-linear deu-se apenas nos anos oitenta, a reboque da onda de assimilação desta abordagem nas ciências naturais.

De certa forma resumindo alguns dos conceitos já abordados acima, podemos dizer que é possível distinguir, na Física Clássica, os campos da Física do Equilíbrio (estática) e Física do Desequilíbrio (dinâmica). Esta última faz uso extenso de sistemas de equações diferenciais que podem ser lineares e não-lineares.

Os sistemas de equações lineares produzem, de acordo com Shone (1997:11), resultados onde pequenas variações dos parâmetros não afetam a natureza qualitativa do sistema. Já os sistemas não-lineares, que ainda segundo o mesmo autor são simples e determinísticos, dão origem a comportamentos caóticos e aperiódicos. Nestes, pequenas mudanças (mesmo muitíssimo pequenas) podem provocar dramáticas alterações no comportamento quantitativo e qualitativo do sistema.

É interessante notar que todo sistema determinístico envolve três características que devem ser reconhecidas, as quais são organizadas por Shone (1997:12, a partir de Hilborn, 1994) da seguinte maneira:

- i) evolução temporal dos valores;
- ii) valores dos parâmetros; e
- iii) condições iniciais.

Um sistema para o qual todas essas três características são conhecidas é dito *determinístico*. Se um tal sistema determinístico exhibe caos, então ele é muito sensível às condições iniciais. Dadas diferenças muito pequenas nas condições iniciais, o sistema se comportará de forma muito diferenciada no tempo. Entretanto, isto significa essencialmente que

o sistema é imprevisível uma vez que há sempre alguma imprecisão na especificação das condições iniciais e que portanto a trajetória futura do sistema é dita *indeterminada* mesmo sendo o sistema ele próprio *determinístico* (Shone, 1997:12).

Tudo isto ficaria no campo da Física Clássica. Os sistemas são determinísticos muito embora possam ser imprevisíveis. A presença de caos na Economia levanta, como coloca Shone (1997), a questão de se as flutuações econômicas têm origem em “mecanismos de propagação endógenos” (como o que reforça o papel das políticas governamentais de estabilização, como nas contribuições dos novos-keynesianos) ou em choques exógenos ao sistema (neste caso, na ausência de perturbações a economia é assintoticamente estável e, portanto, na presença de caos as prescrições ou as “interferências” são potencialmente danosas ou possivelmente inúteis).

Esta é uma discussão conceitual muito relevante para o tratamento de sistemas sócio-econômicos, uma vez que a distinção entre os conceitos “determinístico” e “imprevisível” nem sempre fica clara em textos voltados para o tratamento de como a não-linearidade, em particular a Teoria do Caos, vem sendo incorporada pelas ciências sociais, como adverte Bricmont (1995). Por esta razão, não é demais dedicar um pouco mais de tempo a esclarecimentos quanto a esta distinção.

O determinismo de uma relação depende, de acordo com Bricmont (1995), de quais são as “Leis da Natureza” que se aceitam.<sup>6</sup> Dado um estado de um sistema em um determinado momento no tempo, tem-se uma “regra”, dada por um conjunto de equações diferenciais não-lineares, que oferece a possibilidade de conhecer o estado do sistema num ponto no futuro. Para que o sistema seja previsível, é preciso que se conheça e que se mensure seu estado presente (a situação das variáveis) com precisão. Desta forma é possível resolver o sistema. Este é o caso dos fenômenos analisados pela Teoria do Caos. A imprevisibilidade de um tal sistema advém do fato de serem os fenômenos em causa particularmente sensíveis às condições iniciais. Isto significa, conforme argumenta o autor, que para quaisquer estados iniciais de um sistema, há alguma outra condição inicial, arbitrária e muito próxima da primeira para a qual o sistema se comporta de maneira significativamente diferente. Assim, os sistemas dinâmicos caóticos são imprevisíveis na prática, embora sejam sujeitos a “regras” de natureza determinística.

Existem, entretanto, sistemas “alternativos” aos determinísticos. É o caso, por exemplo, de um sistema que não obedeça a nenhuma lei ou regra. Ou mesmo um sistema que obedecesse a

---

<sup>6</sup> Gujarati (1995) descreve uma relação determinística como uma relação “exata” entre as variáveis em análise.

uma lei estocástica. Neste caso, dois sistemas idênticos submetidos às mesmas condições iniciais poderiam alcançar dois estados totalmente diferentes depois de um período muito breve de tempo, como ressalta Bricmont (1995).

Isto é exatamente o que ocorre no campo da Física Quântica, em que também são utilizadas equações diferenciais, mas com o uso de especificações probabilísticas. Neste caso, a evolução do sistema é completamente aberta e a incerteza é inerente à construção teórica (ou, como coloca Saviotti, à “visão de mundo”). Mesmo aqui, temos uma noção de incerteza de natureza probabilística, o que contrasta com visões mais radicais de incerteza não probabilística de algumas vertentes teóricas em economia. Nestes casos, onde os processos são ditos não-determinísticos, não há, como sustentam Foster & Wild (1999), possibilidade de formalização direta por meio de formulações matemáticas dinâmicas.

Frente a essas considerações, cabe indagar como alguns economistas representantes da corrente evolucionista têm formalizado matematicamente o fenômeno da mudança tecnológica.

Como já mencionamos, Silverberg (1988) identificou abordagens matemáticas para a modelagem de sistemas econômicos dinâmicos. Vejamos suas considerações a respeito das possibilidades desta formalização.

Em primeiro lugar, coerentemente com o que vínhamos discutindo anteriormente e como já mencionamos na primeira seção deste artigo, Silverberg (1988) parte da idéia de que os sistemas econômicos são sistemas abertos no sentido biofísico. Desta forma, considera que as leis que se aplicam a sistemas abertos evolutivos, como nos processos de evolução biológica e interação ecológica, são aplicáveis ao domínio da Economia. Não se trata aqui, adverte o autor, de analogias superficiais, mas do reconhecimento de que há implicações similares no sentido de padrões causais que operam na estrutura mais profunda dos fenômenos em causa, como por exemplo competição, cooperação e geração de variedade.<sup>7</sup>

Em segundo lugar, a riqueza matemática e o realismo empírico do estudo de sistemas dinâmicos são potencializados na visão do autor pelo foco em não-linearidades intrínsecas. A não-linearidade introduz a possibilidade de sistemas com equilíbrios múltiplos, bifurcações com soluções de diversos tipos e caos determinístico, ou seja, sistemas que embora determinísticos

---

<sup>7</sup> Discorremos recentemente (Corazza & Fracalanza, 2004) a respeito deste não reducionismo das contribuições mais recentes da economia evolucionista a meras analogias biológicas. De acordo com Hodgson (2002), podemos compreender aproximações ontológicas entre as abordagens evolucionistas em biologia e em economia, na medida em que buscam determinantes causais específicos à evolução de seus respectivos sistemas.

não demonstram regularidades de comportamento no longo prazo e que são muito sensíveis às condições iniciais, como já mencionamos anteriormente. Essas características estão presentes nos modelos evolucionistas de auto-organização apresentados por Silverberg (1988).

Em terceiro lugar, em contraste com a econometria do *mainstream*, que segundo o autor tentam “revelar leis únicas estruturais sob o véu do ruído estocástico, o que simplesmente serve para obscurecê-los” (p. 532), os modelos evolucionistas tratam a estocasticidade (o desvio de componentes e subsistemas dos valores médios) como sendo dialeticamente entrelaçada a regularidades determinísticas, possivelmente direcionando o sistema ao longo de novos ramos estruturalmente distintos dos regimes passados.

Os modelos evolucionistas aos quais se refere o autor procuram evidenciar como os sistemas sociais podem encontrar pontos críticos de mudança que o levam progressiva e irreversivelmente a uma ramificação (*branching tree*) de trajetórias específicas de desenvolvimento. Estes são os chamados “modelos de seleção e dinâmica Schumpeteriana” (iniciados por Nelson, em 1968, e mais tarde retomados por Nelson & Winter, 1982, tendo o próprio Silverberg se dedicado ao desenvolvimento desse tipo de modelo). As especificações matemáticas dos modelos sobre os quais se debruçam estes economistas constituem o centro da formalização em disciplinas como a sociobiologia, a evolução macromolecular e a ecologia de populações, por exemplo.

Do ponto de vista da compreensão do surgimento de mudanças estruturais nos sistemas econômicos, Silverberg (1988) advoga que as vantagens deste tipo de modelização residem no fato de que a teoria da auto-organização “examina as condições sob as quais partidas do comportamento prevalente podem se auto-amplificar e modificar o próprio ambiente até então determinante daquele comportamento. Uma vez que tais partidas são estritamente imprevisíveis no nível macroscópico, a dificuldade pode ser colocada em termos da habilidade em prever precisamente *quando, se e exatamente quais* novidades podem exercer um efeito significativo sobre o sistema. Os benefícios envolvem, em primeiro lugar, a admissão de que as ciências sociais são realmente históricas, mas, em segundo lugar, a possibilidade de formular assertivas bem fundamentadas e bem informadas sobre os tipos de mudanças que podem ocorrer, padrões de regularidade quando isto acontece, a existência de cenários alternativos, e a magnitude dos esforços necessários para fazer face às escolhas.

Finalmente, em quarto lugar, Silverberg (1988) chama a atenção para as características dos modelos evolutivos nesta linha onde são levados em conta fenômenos coletivos e efeitos cooperativos, características de especial relevância para aplicações no campo social. Enquanto os modelos tradicionais trabalham com a idéia do agente representativo e com comportamento consistente com um equilíbrio único e estável, os sistemas apresentados por Silverberg (1988) podem convergir para um padrão mais estruturado ou para outro estado mais diferenciado dependendo das distribuições dos estados iniciais dos sub-sistemas, mediados por fortes não-linearidades.

Um pouco mais recentemente, Foster & Wild (1999) se empenharam no desenvolvimento de um modelo evolucionista para detectar processos de auto-organização em séries temporais para dados do mercado financeiro. Os pesquisadores partem do reconhecimento de que a aplicação da matemática dinâmica permite gerar trajetórias não-lineares e não tendem a um ponto fixo de equilíbrio e sim a múltiplos equilíbrios, a curvas de equilíbrio e a regiões de equilíbrio. Entretanto, este tipo de ferramenta não oferece possibilidades de tratamento de processos evolucionários em contextos históricos, pois estes *devem conter* elementos não-determinísticos, os quais *não podem ser capturados diretamente* em formulações matemáticas dinâmicas. Como seria possível, então, formalizar tais processos?

De acordo com os autores, por meio de uma “astuta seleção de combinações apropriadas de intervalos discretos e de mecanismos de retroalimentação não-lineares, tem sido possível capturar elementos não-determinísticos de uma forma indireta e *ex-post* e gerar simulações de trajetórias de flutuações de crescimento que mimetizam aquelas observadas na história passada” (Foster & Wild, 1999:110). Embora este tipo de “astúcia” não permita que se represente a natureza “real” dos processos evolucionários, esses esforços de formalização têm, na perspectiva dos autores, possibilitado contribuições teóricas na demonstração de limitações do uso da teorização linear e de equilíbrio em contextos de mudanças evolucionárias significativas.

No exercício feito por Foster & Wild (1999), a partir de uma especificação de crescimento logístico e combinando uma formalização matemática não-linear determinística com elementos não-determinísticos, os autores demonstraram a ocorrência de graus de irreversibilidade estrutural, mudanças estruturais e incerteza, que caracterizam a emergência de um processo evolutivo endógeno, de auto-organização.

Gostaríamos de encerrar esta seção com uma observação interessante dos autores, sobre o fato de que os esforços no sentido da teorização sobre a dinâmica econômica não-linear não tem tido impacto significativo na modelagem econométrica. Segundo eles, ainda prevalece a abordagem convencional que trabalha séries temporais como pontos de desequilíbrio intermediários entre estados de equilíbrios estáticos. Assim, sem o apoio de um desenvolvimento significativo da econometria no sentido da formalização dos processos evolucionários, o de desenvolvimento de ferramentas econométricas adequadas para suas proposições teóricas constitui uma tarefa hercúlea que tem sido enfrentada, talvez ainda um pouco timidamente, pelos próprios teóricos evolucionistas (Foster & Wild, 1999:110).

### **Considerações finais**

Neste momento, partiremos de algumas das conclusões parciais elaboradas ao longo deste artigo para tecer algumas reflexões sobre suas implicações positivas e normativas.

Parece-nos de grande interesse a tendência evidenciada na literatura econômica de se abordar os sistemas econômicos como sistemas abertos. Perspectivas auspiciosas se colocam a este tipo de teorização, uma vez que nos permite uma compreensão mais elaborada de muitos fenômenos relevantes no “mundo real”: a complexidade das relações entre os componentes ou sub-sistemas; a emergência, a transformação e o colapso de estruturas dentro do sistema; as mudanças qualitativas do sistema a longo prazo; o papel da cooperação e outras formas de interações e de atuação coletiva; e o papel central desempenhados pela história e pelas instituições.

O entusiasmo que podem provocar essas novas perspectivas de análise deve, entretanto, ser matizado por algumas limitações que surgem quando do reconhecimento dos sistemas econômicos como sistemas complexos, abertos e cujo comportamento não-linear pode ensejar trajetórias evolutivas.

Do ponto de vista da representação positiva dos sistemas econômicos, não são negligenciáveis as dificuldades em se descrever sistemas abertos não-lineares. Nestes sistemas, flutuações e desvios do que as análises convencionais suporiam ser “equilíbrios” são, dentro desta nova perspectiva, inerentes ao funcionamento do sistema. São inúmeras e complexas as possibilidades pelas quais o sistema possivelmente afeta e é afetado pelas condições de seu meio ambiente. Pequenas variações em suas condições iniciais podem afetar de maneira dramática suas

trajetórias. Há grandes dificuldades em se detectar padrões nos comportamentos oscilatórios que muitos sistemas abertos assumem.

Alguns esforços estão sendo realizados, especialmente por alguns economistas que se filiam à corrente evolucionista, no sentido de tentar capturar em modelos essas características. Até onde pudemos perceber, há um longo percurso pela frente.

No que diz respeito às implicações normativas da abordagem dos sistemas econômicos como sistemas abertos, os desafios não parecem menores.

As derivações de política das análises convencionais, do *mainstream*, obedecem sempre a uma lógica cristalina: falhas de mercado a serem corrigidas, ineficiências a serem minimizadas, bem-estar a ser maximizado, recursos a serem eficientemente aplicados, direitos de propriedade a serem definidos, externalidades a serem internalizadas... Ainda quando o conhecimento não é perfeito e quando a própria atuação da autoridade pública é reconhecida como falível, temos um “kit de ferramentas” passível de aplicação.

Mas o que dizer quando a própria natureza do sistema muda de maneira imprevisível e quando mesmo variáveis antes bem definidas perdem seu sentido?

Ora, se os sistemas podem tanto apresentar rigidez (*path-dependence*) quanto extrema sensibilidade a interferências, somos levados a concluir que no mínimo é preciso acumular muito conhecimento sobre o sistema, seu comportamento histórico e suas idiossincrasias, para tomar decisões. Estas, por sua vez, devem ser cuidadosas uma vez que o sistema pode reagir de forma muito forte e imprevisível.

A conclusão de Chick (2003:23) a este respeito não é diferente: “Um *policy-maker* guiado pelo pensamento de sistema aberto é cuidadoso, consciente da surpresa potencial e mantém alerta, tentando antecipar o próximo movimento. Isso soa para mim como uma atitude política sensível e desejável”.

A observação que Silverberg (1988:555) faz sobre as possibilidade de intervenção de política nos parece ao mesmo tempo um alerta e uma “esperança”: “...sistemas não-lineares demonstram fenômenos [... tais que] não é sempre possível fazer generalizações a partir de efeitos de pequenas ações de política. [...] nem sempre somos livres para fazer o que queremos porque o resto do sistema pode reagir de forma muito conservadora [...] ou mesmo de maneiras desastrosamente contra-intuitiva. Por outro lado, mudanças aplicadas de forma muito perspicaz por um agente apropriadamente situado, como governos, movimentos sociais etc. podem ser

hábeis em estimular uma reorganização completa e auto-propagadora do sistema rumo a um estado inequivocamente mais favorável [...]”.

Àqueles que encontrarem na assertiva de Silverberg uma posição por demais voluntarista, talvez possa servir de consolo a observação de que provavelmente com poucas exceções, a despeito de todo o instrumental convencionalmente oferecido pela Economia, a prática das políticas públicas tem sido mais uma arte do que uma ciência.

### **Referências bibliográficas**

- BRICMONT, J. (1995). *Science of Chaos or Chaos in Science? Physicalia Magazine*, 17: 159-208.
- CERQUEIRA, H. E. da G. (2000). A economia evolucionista: um capítulo sistêmico da teoria econômica? (*Texto para Discussão nº 150*). Belo Horizonte: Cedeplar.
- CHICK, V. (2003). Sobre sistemas abertos. *Revista da Sociedade Brasileira de Economia Política*, 13: 7-26.
- CORAZZA, R. I.; FRACALANZA, P. S. (2004). Caminhos do pensamento neo-schumpeteriano: para além das analogias biológicas. *Nova Economia*, 14. No prelo.
- FARIA, L. A. E. (2000). Economia e autopoiese. *V Encontro Nacional de Economia Política*. Fortaleza. Disponível on line em: <http://race.nuca.ie.ufrj.br/PaperArquivo/WP/faria3.doc>. Consultado em janeiro de 2004.
- FOSTER, J. (1997). The analytical foundations of evolutionary economics: from biological analogy to economic self-organization. *Structural Change and Economic Dynamics*, 8:427-451.
- FOSTER, J. (2000). Competitive selection, self-organisation and Joseph A. Schumpeter. *Journal of Evolutionary Economics*, 10:311-328.
- FOSTER, J.; WILD, P. (1999). Detecting self-organisational change in economic processes exhibiting logistic growth. *Journal of Evolutionary Economics*, 9:109-133.
- FUCHS, C. (2002). Social information and self-organisation. In: Trappl, R. (Ed.) (2002). *Cybernetics and Systems*. Vol. I. Vienna: Austrian Society for Cybernetic Studies.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1995). *La Décroissance: entropie, écologie, économie*. Paris: Sang de la Terre.



- GOWDY, J. (1997). Introduction: biology and economics. *Structural Change and Economic Dynamics*, 8:377-383.
- GUJARATI, D. (1995). *Basic Econometrics*. Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- HODGSON, G. M. (2002). Darwinism in economics: from analogy to ontology. *Journal of Evolutionary Economics*, 12:259-281.
- RUTH, M. (1996). Evolutionary economics at the crossroads of biology and physics. *Journal of Social and Evolutionary Systems*, 19(2):125-144.
- SHONE, R. (1997). *Economic Dynamics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- SILVERBERG, G. (1988). Modelling economic dynamics and technical change: mathematical approaches to self-organisation and evolution. In: Dosi et al (1988). *Technical Change and Economic Theory*. London: Pinter Publishers.
- VERCELLI, A. (1994). Por uma macroeconomia não reducionista: uma perspectiva de longo prazo. *Economia e Sociedade*, (3):3-19.
- WITT, U. (1997). Self-organization and economics – what is new? *Structural Change and Economic Dynamics*, 8:489-507.