

Introdução

É crescente o emprego que se tem feito, recentemente, por economistas e centros de pesquisa interdisciplinar, de técnicas e modelos inspirados pela Teoria dos Sistemas Complexos para o estudo de alguns temas de longo interesse da Ciência Econômica.

Este trabalho visa analisar o que se entende por Sistemas Complexos e porque a utilização desse conceito pode contribuir para o avanço da Economia, especialmente no que se refere ao desenvolvimento de novas linhas de modelagem.

Inicialmente, identificam-se as principais características do que se entende por sistemas complexos e como seu emprego no estudo de problemas econômicos pode eventualmente responder à insatisfação de variados teóricos economistas (dentre eles, autores de contribuições acadêmicas fundamentais), no que se refere ao poder explicativo das análises embasadas no modelo de Equilíbrio Geral, suas posições em parte motivadas por um problema técnico específico com que se defrontou a aplicação do método axiomático à Economia, no tratamento do comportamento agregado das sociedades.

Posteriormente, procede-se ao desenvolvimento matemático de um modelo de características complexas, originário da Física Estatística, e adaptado aos interesses das Ciências Sociais (DURLAUF, 1997; BROCK e DURLAUF, 2001), com o propósito de se verificar de que pressupostos comportamentais a respeito dos agentes econômicos ele se vale, e que características do comportamento agregado das sociedades é capaz de explicar.

Em seguida, recorrendo-se à metodologia recentemente denominada de Economia Computacional, simula-se o comportamento dinâmico de algumas sociedades artificiais, com o propósito de se exporem as principais características dos sistemas e dos processos

complexos, bem como avaliar de que forma estão efetivamente presentes no desenvolvimento histórico das sociedades.

Finalmente, desenvolve-se um estudo empírico da difusão geográfica da INTERNET na região metropolitana de São Paulo, buscando-se identificar evidências favoráveis à presença das características dos sistemas complexos naquele processo espacial de inovação tecnológica.

Capítulo 1

Economia e Sistemas Complexos

1.1. Introdução

Este capítulo procura apresentar, introdutoriamente, o que se entende por sistemas complexos e porque eles podem representar uma ferramenta importante de análise dos fenômenos sociais, já que se fundamentam em conceitos que renomados economistas têm considerado serem os novos caminhos que a Economia deve trilhar no desenvolvimento de seus modelos, suas opiniões motivadas em parte por um teorema de importância capital, pertencente à Teoria do Equilíbrio Geral, o Teorema de Sonnenschein-Mantel-Debreu.

1.2. Um Teorema Sobre o (Des)Equilíbrio Geral

A Teoria Econômica, ao longo do século XX, submeteu-se a um inegável esforço de formalização matemática, como consequência da engenhosa combinação que se fez do Individualismo Metodológico com o Método Axiomático (INGRAO e ISRAEL, 1990; GIOCOLI, 2003).

Os propósitos dessa formalização estão muito bem sintetizados nestas palavras de John von Neuman e Oskar Morgensten, dois autores que contribuíram fundamentalmente para esse processo, ao estabelecerem as bases desse programa:

We wish to find the mathematically complete principles which define *rational behavior* for the participants in a social economy, and to derive from them the general characteristics of that behavior. (VON NEUMANN e MORGENSTEN, 1953, p. 31)

Tal tratamento axiomático do comportamento de escolha racional dos agentes econômicos provocou significativas mudanças na análise modelada dos fenômenos sociais.¹

1.2.1. A Análise do Comportamento Individual

No que se refere à análise do comportamento individual, foi possível, por exemplo, pela aplicação do método axiomático combinado ao Individualismo Metodológico, estabelecer a *estrutura de preferências* como conceito fundamental para a descrição do processo de decisão racional dos agentes econômicos sobre os objetos de escolha (DEBREU, 1959). Essa mudança permitiu, por sua vez, uma nova interpretação conceitual da *função utilidade*, que deixou de ser entendida como um atributo do agente econômico para se tornar um mero instrumento de modelagem “psicologicamente” justificável, sua validade sendo uma consequência lógica dos pressupostos sobre a racionalidade e as preferências individuais.

Tal ruptura metodológica teria contribuído, igualmente, para que a Economia ampliasse a aplicação de modelos para além do estudo dos processos da produção e distribuição de bens, tornando-se passíveis de modelagem as questões também referentes aos incentivos sociais. (MYERSON, 1999). Isso teria se dado porque, como a descrição formal do comportamento racional dos agentes econômicos passou a ser fundamentada, a partir de então, em conceitos matemáticos que prescindem da descrição numérica (as *estruturas de preferências*), muito embora permitam tal descrição (pela existência matemática da *função de utilidade*), tornou-se igualmente possível a utilização desse modelo de comportamento racional para situações em que os objetos de escolha não são

¹ Para uma análise favorável das consequências da utilização do método axiomático na Teoria Econômica veja-se, por exemplo, DEBREU (1991) e para uma visão menos otimista, veja-se BLAUG (1997, p. 167 a 170).

necessariamente quantitativamente comparáveis – *quantidades* consumidas, por exemplo – mas também qualitativamente comparáveis – como, por exemplo, escolher qual a melhor atitude de comportamento individual entre *cooperar socialmente ou optar pelo conflito*, ou mesmo, *votar neste ou naquele partido político*.²

1.2.2. O Comportamento Agregado e a *Possibilidade* do Equilíbrio Geral

A introdução do método axiomático na Economia permitiu também a demonstração de um importante resultado matemático que, por sua vez, teria profundas implicações sobre o desenvolvimento futuro da Teoria Econômica: o já celebre Equilíbrio de Nash para situações sociais não cooperativas, pela utilização do Teorema do Ponto Fixo como recurso de análise de problemas econômicos e sociais (INGRAO e ISRAEL, *op. cit.*).

Especificamente para a Teoria do Equilíbrio Geral, a demonstração matemática da existência daquele equilíbrio possibilitou o tratamento matemático do conceito de economia de mercado como um grande jogo, no qual a competição entre as firmas e entre os consumidores poderia ser interpretada simplesmente como mais um tipo de interação social, tornando-se seus objetos de escolha (ou seja, suas estratégias de comportamento no jogo), os planos de produção a serem empregados pelas empresas e as cestas de bens e serviços a serem demandadas pelos consumidores. (GIOCOLI, *op. cit.*).³

A reinterpretação da existência do Equilíbrio de Nash para esse jogo econômico como se fora a própria existência do Equilíbrio Geral da economia composta por muitos mercados competitivos, possibilitou maior generalização e abrangência dos pressupostos e

² O “sucesso” dessa “nova” Teoria Econômica teria sido tão expressivo que LAZEAR (1999) adota a opinião extrema de que há um certo *Absolutismo* da Economia, a ponto de configurar-se uma espécie de Imperialismo Econômico dela frente às demais ciências sociais.

³ Essa possibilidade de se interpretar a economia de mercado como apenas mais um caso de interação social foi vislumbrada já por von Neumann & Morgensten, como atestam suas palavras a seguir: *We hope, however, to obtain a real understanding of the problem of exchange by studying it from an altogether different angle; this is, from the perspective of a “game of strategy”*. (VON NEUMANN e MORGENSTEN, *op. cit.*, p. 9)

das hipóteses nos quais se embasavam as demonstrações teóricas tanto a respeito da existência do equilíbrio walrasiano, quanto ao que se refere à eficiência paretiana desse equilíbrio na maximização, à *laissez-faire*, do bem-estar dos agentes econômicos. (INGRAO e ISRAEL, *op. cit.*; KADOTA, s/data; HILDEBRAND, 1986).

Paralelamente, esse relativo êxito da Teoria Microeconômica quanto ao Equilíbrio Geral incentivou a procura de um método de análise dos temas macroeconômicos fundamentada nas escolhas individuais dos agentes, constituindo-se assim um programa de microfundamentação da Macroeconomia.

A esse respeito, são ilustrativas as palavras de Robert M. Townsend ao iniciar seu texto técnico de revisão dos modelos macroeconômicos utilizados por tal programa de pesquisa em Teoria Econômica:

The class of general equilibrium models of Arrow (1964), Debreu (1959), Mackenzie (1959), and others is an excellent starting point for the study of actual economies. On the positive side, this class of models can be used to address the standard macroeconomic concerns of inflation, growth, and unemployment, and also more general phenomena such as the objects and institutions of trade, the absence of insurance arrangements of some kinds, or the dispersion of consumption in a population. On the normative side, this class of models can be used to study stabilization policy and optimal monetary arrangements. (TOWNSEND, 1989, p. 379).

Todavia, foi essa mesma estrutura axiomática utilizada pela Teoria do Equilíbrio Geral, cujo rigor lhe era emblemático, que permitiu a verificação de qual era o verdadeiro potencial explicativo das Teorias Neoclássicas de Mercados e, mais especificamente, da Teoria Walrasiana, quando aplicadas à análise do comportamento econômico agregado, tal como se expõe a seguir.

1.2.3. Um Resultado Fundamental (ainda que indesejado...)

O método dedutivo empregado pela Teoria do Equilíbrio Geral permitiu, como visto, a demonstração da existência e da eficiência paretiana desse equilíbrio em economias perfeitamente competitivas.

Entretanto, no que se refere à utilização do tradicional recurso de análise econômica de *Estática Comparativa*, a existência daquele equilíbrio geral não é o bastante para que tal método seja empregado, sendo igualmente necessárias a garantia quanto à sua unicidade e à sua estabilidade.

Uma questão a que o programa de pesquisa em Equilíbrio Geral buscou por longo período responder foi a seguinte: será que as características da função excesso de demanda agregada necessárias para que se valide o uso do método de estática comparativa na análise do comportamento agregado das economias, podem ser resultantes dos próprios microfundamentos utilizados para a sua obtenção e para a garantia da existência e da eficiência daquele equilíbrio? Em outras palavras, será que as hipóteses fundamentais a respeito dos agentes econômicos e de suas relações estabelecem uma estrutura suficiente para se garantir que a função excesso de demanda agregada apresente aquelas características necessárias para a utilização da técnica de estática comparativa, permitindo assim uma determinação inequívoca do comportamento econômico agregado?

Os trabalhos de SONNENCHEIN (1973); MANTEL (1974); DEBREU (1974), e cujo resultado conjunto é usualmente denominado de *Teorema de Sonnenchein-Mantel-Debreu*, respondem àquela pergunta conclusivamente e da seguinte forma: não, partindo-se apenas das hipóteses microeconômicas relativas aos agentes econômicos, ou seja, à microestrutura da economia, não se pode garantir qualquer característica de maior interesse para seu comportamento agregado, e tampouco se pode garantir que a função excesso de demanda agregada apresente as propriedades mínimas necessárias para que o equilíbrio geral da economia possa efetivamente ser utilizado como ferramenta de análise do seu comportamento agregado. Não se pode obter, por exemplo, nem mesmo alguma propriedade equivalente à *Relação de Slutsky* que se refira ao comportamento agregado da sociedade.

Em outras palavras, as características da função excesso de demanda, necessárias para se utilizar o equilíbrio geral da economia como ferramenta de análise do seu comportamento agregado lhe devem ser arbitrariamente imputadas, isto é, de maneira *ad hoc*, e, em sendo assim, não há a microfundamentação esperada para o comportamento agregado da sociedade.⁴

Para avaliar-se inequivocamente a importância técnica do Teorema de Sonnenschein-Mantel-Debreu não apenas para a Teoria do Equilíbrio Geral mas para a própria Economia, uma vez que boa parte dos modelos que hoje nesta se desenvolvem baseiam-se naquela teoria, convém se leia a interpretação de Kenneth Arrow, cujas contribuições seminais para o desenvolvimento daquela Teoria são garantia irrefutável de que esse autor têm *exata* compreensão do Teorema e de seu significado.

Para Arrow, o Teorema de Sonnenschein-Mantel-Debreu mostra que

In the aggregate, the hypothesis of rational behavior has in general no implications; that is, for any set of aggregate excess demand functions, there is a choice of preference maps and of initial endowments, one for each individual in the economy, whose maximization implies the given aggregate excess demand functions. ARROW (1987, p. 264).

e conseqüentemente, quanto ao uso que se tem feito do conceito de Equilíbrio Geral em Teoria Econômica, esse mesmo autor conclui que

The implications [do teorema] are in contradiction to the very large bodies of empirical and theoretical research, which draw powerful implications from utility maximization for (...) the performance of the macroeconomy based on “new classical” or “rational expectations” models. (...) this power is obtained by adding strong supplementary assumptions to the general model of rationality. ARROW (1987, p. 265).

Werner Hildebrand, outro autor que também contribuiu significativamente para a consolidação de alguns dos resultados da Teoria do Equilíbrio Geral, afirma, a respeito desse problema técnico, que

⁴ Para uma apresentação formal do Teorema de Sonnenschein-Mantel-Debreu, além das referências originais, veja-se a seção intitulada *Anything Goes* do capítulo 17 de MAS-COLLEL *et al.* (1995), ou ainda, SAARI (1995). Uma revisão mesclada de especificidades técnicas e informações históricas está disponível em INGRAO e ISRAEL (1990). Veja-se SOROMENHO (2000) para uma análise das conseqüências do Teorema para o programa de microfundamentação da Macroeconomia e AMABLE *et al.* (1997) para o freqüente emprego de suposições *ad hoc* em modelos pretensamente microfundamentados, nesse programa.

From my first conversation with Debreu (when quite naively, I expressed the intention of working on [estabilidade e unicidade] problems), I remember that he was always convinced that the microeconomic foundations do not imply sufficient structure for total excess demand to allow a satisfactory treatment of these problems. Of course, by specific more or less ad hoc assumptions, imposed directly on the excess demand system, certain comparative statics properties, for example, can be obtained. But what is the relevance of these results? HILDEBRAND (1986, p. 26).

e, um pouco mais à frente desse mesmo texto, esse autor complementa:

The results (do Teorema) show, in my opinion, that an exchange economy can no longer serve as an appropriate prototype example of an economy if one wants to go beyond the existence and optimality problem. HILDEBRAND (*op. cit.*, p. 26).

Assim, as opiniões desses autores permitem se perceber que o arcabouço teórico desenvolvido pela combinação do Individualismo Metodológico com o Método Axiomático, tal como se fez até o presente, não pode descrever conclusiva e univocamente o comportamento agregado das economias; ou seja, embora de valor incontestado e substancial pelas diversas contribuições que facultou à Teoria Econômica, o Modelo de Equilíbrio Geral *não basta* como recurso técnico para análise econômica do comportamento agregado das sociedades.⁵

Uma vez identificado esse problema no método de análise utilizado pela Teoria do Equilíbrio Geral, torna-se uma exigência a discussão de quais devem ser os novos caminhos a serem trilhados pela Teoria Econômica tais que lhe permitam a construção de métodos alternativos, capacitando-a a analisar modeladamente o comportamento agregado das sociedades.

1.3. Os Possíveis Fundamentos de uma Nova Fronteira de Modelagem

Uma vez que as hipóteses subjacentes ao Modelo de Equilíbrio Geral, referentes aos agentes, à estrutura e ao funcionamento das sociedades, permeiam expressiva parte da atual Teoria Econômica, assim como fundamentam parcela significativa dos trabalhos que

⁵Além desse problema técnico evidenciado pelo Teorema de Sonnenschein-Mantel-Debreu, convém citar-se ainda aquele identificado por OLSON (1971), a respeito da *Lógica da Ação*.

nela se desenvolvem, a reconsideração das mesmas apresenta-se como um bom ponto de partida para a discussão do que se deve fazer para a construção de novos modelos.⁶

É exatamente esse o procedimento utilizado por ARROW (*op. cit.*); HAHN (1991), e KIRMAN (1997), três autores cujas considerações serão aqui analisadas, respeitada sua ordem cronológica.

Kenneth ARROW (*op. cit.*), depois de revisar as suposições que usualmente se fazem na Teoria Econômica a respeito da racionalidade dos seus agentes, conclui que a validade e utilização do indivíduo econômico substancialmente racional da microeconomia neoclássica (SIMON, 1982) deve ser questionada, quer por sua plausibilidade lógica quer pela vulnerabilidade dos resultados teóricos que ela permite se obtenham.

Sugere, então, que se experimente o desenvolvimento de modelos em que os agentes econômicos passem a ser dotados de *outros tipos de racionalidade*, citando inclusive acreditar na possibilidade de haver “*an inherently unpredictable element in rational behavior.*” (ARROW, *op. cit.*, p. 214).

ARROW (*op. cit.*) antevê até mesmo que tal mudança nos fundamentos da modelagem econômica pode exigir inclusive a definição de *novos conceitos de equilíbrio* que não os usualmente empregados na Teoria Econômica.⁷

Frank HAHN (*op. cit.*), ele mesmo um autor que contribuiu significativamente para a disseminação da Teoria do Equilíbrio Geral em Economia, dada sua co-autoria em *General Competitive Analysis* (ARROW e HAHN, 1971), também considera ser necessária a substituição daquele agente econômico substantivamente racional, capaz de tudo saber e

⁶ A esse respeito, CLOWER e HOVIT (1999) confrontam quais são as características das verdadeiras economias que a Teoria Econômica busca estudar com as características irrealistas que as mesmas teriam que apresentar para que a Teoria do Equilíbrio Geral fosse capaz de descrevê-las como desejado.

⁷ FOLEY (1994), por exemplo, procura analisar as economias de mercado sob uma perspectiva probabilística, empregando assim o conceito de *equilíbrio estatístico*.

tudo calcular instantânea e infalivelmente, por *um indivíduo que se vê em constante processo de aprendizado e adaptação*.

Esse mesmo autor acredita ainda que, se a Economia pretende avançar tanto na obtenção de resultados teóricos quanto no seu potencial explicativo dos problemas e fenômenos observáveis, deverá recorrer menos ao método dedutivo e mais a métodos essencialmente indutivos, tal como ilustra a seguinte passagem de seu texto:

Instead of theorems we shall need simulations, instead of simple transparent axioms there looms the likelihood of psychological, sociological and historical postulates. (HAHN, *op. cit.*, p. 47).

Alan KIRMAN (1997), por sua vez, também defende a substituição do agente lógico-dedutivo da Teoria Neoclássica por *agentes adaptativos, inteligentes, hábeis a aprender e evoluir*.

Esse autor identifica ainda outra modificação necessária no estabelecimento dos pressupostos dos modelos a serem desenvolvidos em Economia: a presença de *padrões de interação social não intermediada* entre os agentes econômicos e a *evolução desse padrão de interação social* ao longo do tempo.

Ainda na opinião desse autor, a possibilidade de evolução e mudança constante dos agentes econômicos e de suas interações sociais pode inclusive mostrar ser inapropriada a utilização do conceito *equilíbrio*, tal como entendido em Teoria Econômica, o que exigiria a criação de um novo conceito para a análise da regularidade e estabilidade do comportamento social.

Naturalmente, não é recente o reconhecimento, por parte dos Economistas, da importância das interações entre os indivíduos e as partes das sociedades, para um melhor entendimento da dinâmica das economias.⁸

⁸ Deve-se ressaltar inclusive que o próprio processo competitivo de mercado da Teoria Neoclássica representa um caso particular de interação entre os mesmos, como ilustra a citação da nota de rodapé 3.

Segundo MANSKI (2000, p. 12), entretanto, uma razão para esse aparente desinteresse por parte de alguns economistas no que tange às interações sociais parece ser a dificuldade encontrada, até o presente, de se estabelecer um instrumental de análise que fosse tratável objetivamente. Isso permitiu um maior destaque, de certa forma profícuo, aos modelos embasados somente nos mecanismos de funcionamento dos mercados (concorrência, otimização, etc.) sem que se dedicasse uma merecida atenção a outros tipo de interações sociais que, embora relevantes para o bom entendimento dos processos econômicos, não eram suscetíveis de um tratamento de modelagem quantitativo.⁹

Ao longo dos últimos anos, porém, vem sendo consolidada uma nova linha de análise modelada dos sistemas econômicos que é a dos chamados Modelos de Processos Complexos com Dinâmicas Emergentes, e que vem apresentando contribuições importantes para um melhor entendimento dos variados fundamentos econômicos das dinâmicas sociais.

1.4. Os Sistemas Complexos e suas Dinâmicas Emergentes

Partindo da hipótese de que os agentes podem interagir tanto indiretamente, pelas forças usuais de mercado, quanto diretamente, sem que se exija a existência de mecanismos absolutos ou estanques de intermediação de transações, esta linha de análise tem possibilitado a modelagem de níveis de interação econômica e social maiores do que os empregados pela teoria neoclássica – com sua quase inexistência de relação direta entre os agentes – mas menores dos que os utilizados pela teoria dos jogos não-cooperativos – que supõe total interação entre todos os agentes envolvidos em dado sistema.

⁹ BECKER (1968, 1974, 1991) talvez seja o melhor exemplo desse predomínio dos conceitos utilizados para a análise dos mercados, sobre as ciências sociais.

Conforme discorrem ARTHUR *et al* (1997a), enquanto o paradigma neoclássico está fortemente embasado na busca de pontos de equilíbrio agregado – com eventuais propriedades de eficiência, unicidade e estabilidade, e resultantes da agregação das escolhas racionais individuais – e na busca de trajetórias de equilíbrio – identificando aquelas eventualmente mais eficientes – a escola dos processos complexos com dinâmicas emergentes procura utilizar fundamentos mais abrangentes e flexíveis, que permitam análises mais elucidativas da realidade econômica, ao introduzir, por exemplo, a possibilidade da interação direta entre agentes heterogêneos e dispersos por todo o sistema econômico, a inexistência de um controlador global absoluto à dinâmica do sistema (tal como o *leiloeiro* da análise neoclássica), a existência de diversos níveis de organização hierárquica, a possibilidade de adaptação contínua dos agentes, de seus comportamentos e suas estratégias, a constante renovação dos processos produtivos e possíveis dinâmicas de desequilíbrio.

1.4.1. Mas, o que são os Sistemas Complexos?

Responder a essa questão de forma objetiva e precisa ainda não é tarefa fácil. E mesmo que se restrinja a questão ao contexto da Teoria Econômica, responder o que significa analisar os sistemas econômicos e sociais sob a perspectiva da Complexidade é igualmente difícil, conforme colocam ARTHUR *et al* (1997, p. 2): “*That is not an easy question to answer. Its meaning is still very much under construction(...)*”

Todavia, apesar da dificuldade de se conceituarem os sistemas complexos de forma objetiva, um entendimento preliminar do que representam é possível pela identificação de quais são suas principais características, as quais não se observam nos sistemas clássicos usuais, atualmente denominados, em contraponto, de sistemas simples.

Combinando adequadamente as descrições que três autores fazem, em obras

distintas, do que são os sistemas complexos, pode-se avançar um pouco na compreensão de seu conceito. Cada um desses autores expõe uma característica particular desses sistemas, o primeiro referindo-se aos agentes e partes que os compõem, o segundo atendo-se à forma como essas partes se relacionam, e o último enfatizando seu comportamento agregado:

[I] In complex systems the agents are necessarily both intelligent and adaptive, in the sense that they make decisions in accordance with various rules, and are ready to modify their rules of actions on the basis of new information that comes their way. (CASTI, 1997, p.x)

[Entretanto,] Simple Systems are also formed out of parts. To explain the difference between simple and complex systems, the terms ‘interconnected’ or ‘interwoven’ are somehow essential. Qualitatively, to understand the behavior of a complex system we must understand not only the behavior of the parts but how they act together to form the behavior of the whole. (BAR-YAM, 1997, p.1);

[A] system is said to be complex when it exhibits some type of order as a result of the interactions of many heterogeneous objects. When the interactions occur at a level of description other than that at which the patterns occur, these patterns are often called *emergent* (DURLAUF, 1997, grifo no original).

Dessas descrições, três características fundamentais dos sistemas complexos podem ser identificadas:

a) a primeira característica é que os sistemas complexos são compostos por muitos agentes, heterogêneos, que dispõem de um potencial de aprendizado e adaptação, o que lhes permite reagir às mudanças que identificam ao seu redor. Em outras palavras, os agentes dos sistemas complexos apresentam um comportamento heterogêneo, “inteligente”, e adaptativo;

b) a segunda característica é a presença de interações não intermediadas entre as partes, isto é, os elementos constituintes do sistema interagem diretamente, por mecanismos de *feedback* que influenciam seus comportamentos; e finalmente,

c) como terceira característica, conseqüente das duas anteriores, os sistemas complexos apresentam *padrões de auto-ordenamento e estruturas emergentes* de um para outro nível hierárquico superior, e que resultam não só do agregado de suas partes mas,

igualmente, da interação entre as mesmas, o que dá ao seu conjunto uma “textura” ou ordem que também apresenta características evolucionárias.¹⁰ Esses padrões de auto-ordenamento dos sistemas complexos são ditos *emergentes* porque se manifestam em um nível hierárquico superior àquele das interações que os ocasionam, e porque embora decorram da ação e da *inter-ação* de suas partes, não decorrem da *intenção* das mesmas em configurá-los no agregado; isto é, ainda que o *todo* dos Sistemas Complexos pareça ter uma dinâmica própria de lógica irreduzível, ele não é o produto de qualquer projeto de cooperação deliberada e implementada pelos agentes para aquele fim, mas um resultado espontâneo, imprevisto e não-intencional, cujo comportamento decorre igualmente da conjunção dos processos de adaptação e de interação de seus elementos.¹¹

Resumidamente, então, a partir da identificação dessas três características, pode-se dizer que um sistema qualquer é do tipo complexo quando: a) suas partes são *inteligentes*, *adaptativas* e b) *interagem mutuamente*, gerando uma c) *estrutura emergente*, evolucionária e com “personalidade” própria.¹²

Entretanto, é preciso se faça uma leitura cuidadosa da exposição dessas características básicas dos sistemas complexos, que aqui foram descritas de forma linear e seqüenciada apenas como recurso expositivo introdutório que facilitasse a sua compreensão. Ressalte-se que tais características, por si mesmas, devem ser entendidas como indissociáveis umas das demais, e para um bom entendimento do que representam os sistemas complexos, assim como dos métodos e conceitos empregados por sua teoria,

¹⁰ Conseqüentemente, o Reduccionismo típico dos modelos da teoria neoclássica torna-se inválido como método de análise dos sistemas complexos, uma vez que estes demonstram *Gestalt*, sendo mais do que a “simples” soma de suas partes.

¹¹ Uma observação importante: no caso das ciências sociais em que os agentes são, em última análise, efetivamente inteligentes (ao menos em relação ao que se entende atualmente por *inteligência*) alguns padrões de ordem emergente podem ser resultantes da ação e da intenção dos mesmos em realizá-los no agregado.

¹² Note-se a semelhança dos fundamentos utilizados pelos modelos de características complexas com as considerações que fizeram Kenneth Arrow, Frank Hahn e Alan Kirman a respeito dos futuros modelos econômicos, discutidas nas páginas anteriores.

deve-se considerar que essas características não se encontram isoladas nos sistemas, estanques, apartadas; essas características não podem ser analisadas individualmente, sendo inclusive tratadas pela literatura específica como interdependentes.

Assim, em uma tentativa de se dirimirem eventuais dúvidas e dificuldades, procurando esclarecer o que são ou representam os sistemas complexos, alguns processos comuns que permitem uma ilustração de como a identificação dessas características apresentadas os classificariam como tais, seriam: um conjunto de partículas que interagem mutuamente, produzindo propriedades magnéticas das matérias que, embora existam no agregado, não se observam quando as partículas se encontram suficientemente isoladas para que não haja interação; um grupo de indivíduos vivos que se esforçam por sua sobrevivência, interagindo entre si e com seu *habitat*, originando espécies biológicas com seus *fenótipos* e ecologias; um grupo de investidores que negociam ações, norteados por suas idiossincrasias, influenciados pelo comportamento dos demais investidores com quem se comunicam e do desempenho do mercado como um todo, tal como expresso por algum índice de referência; motoristas que, além de seus hábitos e suas experiências de trânsito, guiam seus veículos influenciados tanto pelo comportamento dos motoristas que estão ao seu redor, quanto pelas informações relativas aos locais em que se encontram e às quais tenham acesso por emissoras de rádio; e eleitores que, além de suas preferências políticas individuais, consideram as preferências e tendências dos demais eleitores que os rodeiam, tais como familiares, amigos e colegas de trabalho, e as prováveis escolhas do conjunto eleitoral a que pertencem, o que inferem a partir da divulgação de pesquisas de intenção de voto.¹³

Não obstante a utilidade dessas ilustrações, todavia, poucos exemplos do que se

¹³ Tome o leitor o cuidado de não confundir a idéia de sistemas e processos complexos com a de sistemas e processos caóticos, ainda que ambas partilhem de algumas similitudes. Grosseiramente entendidos, os modelos de sistemas complexos centram-se essencialmente na organização e, portanto, na ausência de caos. A esse respeito, veja-se WILLIAMS (2001).

entende por sistemas complexos parecem ser tão ilustrativos quanto o de um cardume em que peixes *heterogêneos* em seus movimentos, *adaptam* contínua e localmente seus comportamentos pela *interação* com os demais peixes ao seu redor, *emergindo* uma auto-organização de coesão e equilíbrio para o comportamento agregado, como se *mãos-invisíveis* lhe dessem aquele formato agregado e aquela estabilidade comportamental.¹⁴

Todos esses exemplos ilustram a presença de *agentes adaptativos* que *interagem*, gerando ordem e estruturas *emergentes* locais e globais.¹⁵

1.4.2. As Aplicações em Economia

Com tal abordagem diferenciada de pesquisa, a escola dos processos complexos com dinâmicas emergentes tem desenvolvido uma pioneira e farta literatura de caráter multidisciplinar, utilizando, por exemplo, modelos de processos estocásticos aplicados a fenômenos com retornos crescentes (ARTHUR, 1994), à endogeneidade de preferências (FÖLMEYER, 1972), a jogos populacionais (BLUME, 1995, 1997), (CHIAPPIN, 1997) e a equilíbrios estatísticos de mercado (FOLEY, 1994), modelos cognitivos de racionalidade limitada (SIMON, 1976a, 1976b, 1982) aplicados à análise do comportamento investidor (SHILLER, 2000), modelos de algoritmos genéticos (HEGSELMANN e FLACHE, 1998) aplicados à formação de expectativas de preços de mercado (ARIFOVIC, 1994) e à organização e à inovação tecnológica (FRENKEL, 2000; KAUFFMAN e MACREADY, 1995), modelos de sociedades artificiais (TESFATSION, 1997) aplicados à formação de preços de mercado (ARTHUR *et al.*, 1997b; KIRMAN e VRIEND, 2001) e à exploração

¹⁴ A referência à metáfora de mão-invisível de Adam Smith é explícita e para uma análise de como os conceitos referentes aos sistemas complexos permeiam todo o pensamento clássico da Economia Política veja-se COLANDER (2000).

¹⁵ Para uma visão preliminar dos principais conceitos da teoria dos sistemas complexos, veja-se WIBLE (2000). Duas referências clássicas são PRIGOGINE e STENGERS (1984); NICOLIS e PRIGOGINE (1989). Uma referência que apresenta os fundamentos dos sistemas complexos com um enfoque multidisciplinar (Economia, Física e Biologia) é AU YANG (1999); e se o interesse for particularmente no que se refere à Teoria Econômica, ARTHUR *et al.* (1997); KRUGMAN (1997); AGLIARDI (1998) e GUEDES (1999).

de recursos naturais (EPSTEIN e AXTELL, 1996), e modelos derivados da teoria dos jogos evolucionários (SAMUELSON, 1996; WEIBULL, 1997; VEGA-REDONDO, 1996) aplicados, por exemplo, aos ciclos econômicos (SILVEIRA, 2000), à disseminação de novas tecnologias (SOROMENHO et all., 2001; PRADO *et all*, 2003), ao aprendizado social (ELLISON, 1993; ELLISON e FUDENBERG, 1993, 1995) e à mudança institucional (YOUNG, 1998).

Essa nova metodologia tem permitido ainda aplicações relevantes à análise de fenômenos econômicos e sociais tão diversificados quanto segregação racial e habitação (SCHELLING, 1971, 1973), adoção de tecnologias inferiores e crescimento econômico (DURLAUF, 1993), demanda educacional, urbanização e acumulação de capital humano (BÉNABOU, 1993), a distribuição geográfica de taxas de desemprego em regiões metropolitanas (TOPA, 2001; MONTGOMERY, 1991), e a distribuição também espacial de taxas de criminalidade decorrente de interação social (GLAESER et all., 1996).¹⁶

1.5. Um Modelo de Campo Aleatório

Em particular, o modelo de características complexas a ser analisado neste trabalho é o apresentado em (DURLAUF, 1997; BROCK e DURLAUF, 2001), cujo formalismo tem suas origens na Física Estatística do Paramagnetismo, tal como desenvolvido inicialmente por Ernest Ising, e cujo propósito, naquele contexto, era o de explicar como a propriedade magnética de um material pode *emergir espontaneamente da auto-organização* de partículas em estados magnéticos inicialmente *heterogêneos*, mas que *interagem localmente*. (KINDERMANN e SNELL, 1980; KARR, 1990).

¹⁶ Para uma revisão mais detalhada da literatura com um enfoque teórico veja-se KIRMAN(1997) e com um enfoque também econométrico, GLAESER e SCHEINKMAN (2001); BROCK e DURLAUF (2000).

Esses modelos de campos (magnéticos) aleatórios (*random fields*), aplicados à Economia, representam uma nova ferramenta de análise de como as motivações sociais e institucionais dos agentes econômicos podem influenciar seus comportamentos individuais, ao se combinarem com seus incentivos pessoais, podendo resultar dessa combinação fortes implicações para as dinâmicas sócio-econômicas agregadas, com a realização de configurações macroeconômicas emergentes.

Esses incentivos coletivos dos agentes são intensificados por fatores de vizinhança sócio-econômica e se devem, por exemplo, à necessidade do indivíduo de ajustar, em alguma medida, o seu comportamento de escolha ao comportamento do grupo ou dos agentes que lhe servem de referência.

Dada a possibilidade, facultada por esse formalismo, de se tratar modeladamente as sociedades, com a consideração de algumas de suas características institucionais, as quais podem condicionar sobremaneira a organização e o desenvolvimento das economias (OLSON, 1971, 1982; NORTH, 1990, 1997), esses modelos de campos aleatórios parecem guardar relação com a Nova Economia Institucional (EGGERTSON, 1990).

É o tema do próximo capítulo, então, a apresentação introdutória desse formalismo dos modelos de campos aleatórios, já adaptados para os interesses das Ciências Sociais.