

Os sistemas complexos

Carolina Marchiori Bezerra

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

BEZERRA, CM. *Inovações tecnológicas e a complexidade do sistema econômico* [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2010. 122 p. ISBN 978-85-7983-089-1. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.



All the contents of this chapter, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial-ShareAlike 3.0 Unported.

Todo o conteúdo deste capítulo, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição - Uso Não Comercial - Partilha nos Mesmos Termos 3.0 Não adaptada.

Todo el contenido de este capítulo, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported.

2

OS SISTEMAS COMPLEXOS

Origens

A abordagem neoclássica padrão alcançou significativo espaço nas discussões de teoria econômica graças às suposições restritivas assumidas por esta, o que possibilitou a sua crescente formalização. Mas, ao mesmo tempo em que se apresenta como uma importante ferramenta de análise, tanto para modelos de competição perfeita quanto imperfeita, tal abordagem falha ao exigir simplificações e abstrações para a sua formulação, gerando modelos distantes da realidade empírica.

Seu interesse consiste em identificar os pontos de equilíbrio agregado resultantes das escolhas racionais individuais, e buscar trajetórias de equilíbrio resultantes, identificando aquelas mais eficientes ao longo do tempo. Contudo, não é capaz de descrever como esse mecanismo se altera ao longo do tempo nem leva em consideração a emergência de novas variáveis, padrões e estruturas que possam emergir como resultado da interação entre os agentes no sistema (Arthur, Durlauf & Lane, 1997).

Colander (2000) argumenta que outras correntes de pensamento não conseguiram ganhar significativo espaço devido à incapacidade de promover essa formalização. Contudo, o domínio

dessa abordagem se deu à custa de perdas no desenvolvimento do conhecimento econômico que levasse em conta suposições mais realistas, como a existência de indivíduos heterogêneos e dotados de racionalidade limitada, mas que possuem capacidade de aprendizado, ou ainda a questão da evolução das instituições.

É nesse contexto de limitação da capacidade da economia tradicional em fornecer respostas a importantes questões que se apresenta a necessidade de analisar métodos alternativos ao proposto pela teoria neoclássica padrão. Essa nova forma de pensar a economia, que ficou conhecida como abordagem dos sistemas complexos, vem apresentando importantes contribuições ao fornecer respostas para questões acerca do entendimento dos fundamentos econômicos das dinâmicas sociais. Tal abordagem desconsidera as hipóteses restritivas com que trabalha a economia tradicional, e representa uma alternativa no campo da ciência moderna, fornecendo ferramentas conceituais e de modelagem importantes para o entendimento do fenômeno complexo.¹

Segundo Saviotti & Metcalfe (1991), a termodinâmica fora do equilíbrio é aplicada aos sistemas abertos e não aos sistemas fechados típicos dos modelos teóricos neoclássicos. Com relação a esses sistemas, enquanto os sistemas fechados são caracterizados por não exibirem qualquer interação com o ambiente e tenderem a um estado de equilíbrio, nos sistemas abertos, as interações são possíveis, o que conduz a uma troca contínua de matéria, energia e informação com o ambiente. Diante da possibilidade de mudanças na estrutura e evolução dos sistemas, estes não tenderão a estados de equilíbrio, mas sim, eventualmente, a diferentes estados estacionários.

1. Essa abordagem considera questões como a existência de dependência da trajetória (*path dependency*), tecnologia, retornos crescentes, racionalidade limitada, evolução e aprendizado, *feedbacks* positivos e equilíbrios múltiplos, questões essas, no geral, ignoradas pela visão neoclássica para que fosse possível tratar seus modelos, os quais, por outro lado, lidam com retornos decrescentes, equilíbrio estático e racionalidade perfeita.

Apesar de conduzir a diferentes estados estacionários, verifica-se que o comportamento nesses sistemas abertos é caracterizado como irreversível, pois a base de conhecimento adquirida no passado influencia em parte o conhecimento futuro. Essa base se reflete em fenômenos dependentes da trajetória,² o que se apresenta como uma situação que confere certa ordem a esses sistemas. Nessa abordagem, “a história importa e o acúmulo de ‘pequenos’ eventos aleatórios pode dar forma ao comportamento e às opções de escolha futuras de modo fundamental” (Saviotti & Metcalfe, p.3).

Como já foi assinalado anteriormente, esses modelos questionam e abandonam a hipótese de agente econômico substancialmente racional da microeconomia neoclássica em favor de indivíduos sujeitos a um constante processo de aprendizado e adaptação, e, portanto, heterogêneos. Além disso, esses modelos lidam com a emergência de padrões de interação social ao longo do tempo, os quais se apresentam como resultado da interação não intermediada entre os agentes econômicos.

Segundo Arthur (2005), essa nova perspectiva representa uma maneira diferente de fazer economia que está baseada na modelagem computacional com base em múltiplos agentes (*agent-based*).³

O marco formal da aproximação da abordagem da teoria da complexidade com a ciência econômica foi a realização de um *workshop*, em 1987, que contou com a presença de economistas e físicos, e teve o objetivo de avaliar determinados fenômenos econô-

-
2. Arthur (1989) identificou esse fenômeno de *path dependence* no interior dos processos de inovação tecnológica, no qual as escolhas tecnológicas são condicionadas pelas escolhas feitas anteriormente. Assim, verifica-se que, quanto mais se investe num padrão tecnológico, tanto mais difícil se torna a passagem para um padrão alternativo. As empresas tenderiam a ficar “presas” (*locked in*) a uma determinada trajetória tecnológica.
 3. Arthur (2005) assinala que essa nova abordagem tem sido identificada de diferentes formas: economia da complexidade, modelagem computacional, modelagem *agent-based*, economia adaptativa, pesquisa em economias artificiais, ciências sociais generativas.

micos a partir da perspectiva da ciência da complexidade, cujas ideias estavam sendo amplamente discutidas nas ciências naturais. Os resultados foram significativos avanços da aplicação do conceito de complexidade no campo da economia, e a criação do Santa Fe Institute, nos Estados Unidos, no final da década de 1980 (Arthur, Durlauf & Lane, 1997).

A teoria dos sistemas complexos vem se desenvolvendo em várias áreas de investigação científica. Vale dizer que ela é mais antiga e desenvolvida em outros campos das ciências do que na economia. Mas alguns pesquisadores dessa abordagem, como Colander (2000) e Foley (2003), sustentam que a ideia de complexidade já estava presente em alguns autores, sendo possível encontrar elementos dessa abordagem em seus escritos.

Desse modo, apesar de a economia ser formalmente relacionada à abordagem dos sistemas complexos apenas no final da década de 1980, é importante notar que muitos economistas, anteriores ao surgimento dessa abordagem, já reconheciam a possibilidade de interação entre os agentes e a sociedade na economia. Entretanto, esses autores ainda não dispunham das ferramentas necessárias para o tratamento quantitativo dessa modelagem. Diante dessa limitação, verifica-se que, apesar de reconhecerem a importância dos mecanismos de interação social, qualquer esforço de formalização sempre acabava restrito à análise estática da economia padrão e, portanto, a abstrações muitas vezes não condizentes com a realidade.

Para Colander (2000), a análise desses sistemas dinâmicos complexos tornou-se possível apenas a partir do desenvolvimento da tecnologia computacional, sendo que “muitos economistas podem ter tido a perspectiva da complexidade, mas eles não a seguiram no seu trabalho formal porque não tinham as ferramentas para fazê-lo” (p.34). Assim, apesar de considerarem questões importantes, dentre as quais algumas são tratadas pela economia da complexidade – como a existência de retornos crescentes e equilíbrios múltiplos –, diante de tais limitações, esses economistas

tória; 5) a capacidade dos agentes de se adaptar e descobrir novas tecnologias e novas organizações e, também, de adotar novos padrões de comportamento, caracterizando um sistema que exhibe novidade permanente; 6) as interações coletivas dentro e fora dos mercados operam como mecanismos de seleção; 7) o resultado dessas interações fora do equilíbrio e do aprendizado heterogêneo são fenômenos agregados caracterizados como propriedades emergentes; 8) as instituições e as formas organizacionais também apresentam propriedades emergentes, dado que também expressam um resultado não intencional das interações coletivas fora do equilíbrio e do aprendizado heterogêneo; 9) as instituições, regras e formas organizacionais apresentam certas regularidades que, diante disso, restringem e dão forma ao processo evolucionário (Dosi & Winter, 2003, p.387-8).¹⁹

Quanto ao ambiente evolucionário, ele envolve um processo de aprendizado e descoberta imperfeita, o que conduz a uma adaptação subótima do meio. De maneira geral, o ambiente é visto como um sistema complexo que passa por mutações e carrega incerteza, mas que é capaz de se adaptar e de se auto-organizar. Contudo, o conjunto de escolhas não é conhecido e dado como na abordagem reducionista,²⁰ de tal modo que as consequências das decisões dos agentes tornam-se desconhecidas.

A capacidade computacional e cognitiva dos agentes, ao contrário do que se pressupõe na teoria neoclássica, que parte da hipótese de racionalidade perfeita, é limitada e, portanto, as decisões tomadas não podem ser consideradas maximizadoras, mas apenas satisfatórias. Portanto, a informação existe parcialmente, mas os agentes, que possuem informação imperfeita e estão em um constante processo de mudança, não são capazes de captá-la e pro-

19. Os autores consideram, entretanto, que nem todos os modelos evolucionários compartilham todos esses blocos de construção teórica, mas limitam-se à consideração de apenas alguns deles.

20. O problema na abordagem reducionista consiste apenas em selecionar as melhores produção e distribuição possíveis dentro do conjunto de alternativas.

ficavam restritos à análise estática da economia padrão e faziam abstrações muitas vezes distantes da realidade.

Foley (2003) identifica o ponto de vista da economia política sobre o fenômeno da auto-organização como uma importante perspectiva metodológica. Segundo o autor, a aceitação do fenômeno da auto-organização “permite que os economistas políticos investiguem a dinâmica de estruturas autorreprodutíveis na vida econômica, sem projetá-las impropriamente no nível microsocial relativo ao comportamento das famílias e das empresas” (p.11). É nesse sentido que acredita ser possível identificar características dos sistemas complexos no campo dos economistas políticos clássicos e em Marx, de modo que tal avaliação se torna relevante.

Em sua tentativa de identificar a contribuição de autores individuais de determinadas correntes de pensamento, Colander (2000) verifica que uns se aproximam mais do que outros da abordagem dos sistemas complexos.

Especificamente no que tange à obra de Smith, tanto Colander (2000) como Foley (2003) identificam elementos da abordagem dos sistemas complexos. Enquanto Colander (2000) chama a atenção para a questão dos retornos crescentes, Foley (2003) destaca a discussão de Smith acerca da gravitação clássica, em que os preços de mercado tendem a gravitar em torno dos preços naturais nos quais as taxas de lucro poderiam ser equalizadas.

De acordo com essa visão, os capitalistas fluem setorialmente, transferindo investimentos de determinadas atividades econômicas para outras, em busca de taxas de lucro superiores. Tal processo ocorre até que os ganhos dos capitalistas sejam equalizados, o que implica a existência de um processo auto-organizado do sistema econômico competitivo.

Cabe lembrar que Smith considera que as

taxas comuns ou médias podem ser denominadas taxas naturais dos salários, do lucro e da renda da terra, no tempo e lugar em que comumente vigoram. Quando o preço de uma mercadoria

não é menor nem maior do que o suficiente para pagar ao mesmo tempo a renda da terra, os salários do trabalho e os lucros do patrimônio ou capital empregado em obter, preparar e levar a mercadoria ao mercado, de acordo com suas taxas naturais, a mercadoria é nesse caso vendida pelo que se pode chamar seu preço natural. (Smith, 1996, p.111)

É a partir dessa concepção de taxa natural que o autor elabora o seu arcabouço teórico – que leva em consideração as complexas relações de produção, distribuição e consumo – com o objetivo de descrever o que se denomina mercado auto-organizado, cujo mecanismo está descrito no trecho seguinte.

Quando a quantidade de uma mercadoria colocada no mercado é inferior à demanda efetiva, não há possibilidade de fornecer a quantidade desejada a todos aqueles que estão dispostos a pagar o valor integral – renda da terra, salários e lucro – que deve ser pago para colocar a mercadoria no mercado. Em consequência, ao invés de desejar essa mercadoria ao preço em que está, alguns deles estarão dispostos a pagar mais. Começará imediatamente uma concorrência entre os pretendentes, e em consequência o preço de mercado subirá mais ou menos em relação ao preço natural, na proporção em que o grau de escassez da mercadoria ou a riqueza, a audácia e o luxo dos concorrentes acenderem mais ou menos a avidez em concorrer. [...] Por outro lado, [...] se em algum momento a quantidade posta no mercado superar a demanda efetiva, algum dos componentes de seu preço deverá ser pago abaixo de sua taxa natural. (Smith, 1996, p.111)

Percebe-se, então, que o mecanismo elaborado por Smith implica uma condição de autoequilíbrio, uma vez que todos os componentes do preço chegarão à sua taxa natural, de tal modo que o preço integral será o próprio preço natural. Ou seja:

o preço natural é como que o preço central ao redor do qual continuamente estão gravitando os preços de todas as mercadorias.

Contingências diversas podem, às vezes, mantê-los bastante acima dele, e noutras vezes, forçá-los para baixo desse nível. Mas, quaisquer que possam ser os obstáculos que os impeçam de fixar-se nesse centro de repouso e continuidade, constantemente tenderão para ele. (Smith, 1996, p.111-2)

O capitalista nessa perspectiva é visto como um benfeitor público e a mão invisível smithiana é a representação desse sistema que se autorregula. Foley (2003), ao considerar a mão invisível de Smith como uma representação do funcionamento de um sistema que se autorregula, afirma que o arcabouço smithiano é compatível com a teoria dos sistemas complexos, auto-organizados e que funcionam fora do equilíbrio.

A obra de Malthus também apresenta características que são compatíveis com a economia da complexidade. Mais especificamente, essa aproximação é observada em seu estudo sobre equilíbrio demográfico, cuja análise se centra num mecanismo de *feedback* estável, dado que, quando a taxa de mortalidade é menor do que a taxa de fertilidade, a população tende a crescer.

Entretanto, na visão daquele autor, a produção de alimentos não cresce na mesma proporção, e sim a taxas decrescentes, elevando então a taxa de mortalidade. Segundo Malthus, o equilíbrio entre a produção e o consumo anuais pode levar as nações à prosperidade ou à decadência. Isso porque:

Se em determinados períodos a produção de um país excede seu consumo, os meios de aumentar seu capital poderão ser obtidos, sua população logo crescerá, ou então essas grandezas se ajustarão melhor, e provavelmente ambas as coisas ocorrerão. Se em tais períodos o consumo é exatamente igual à produção, não haverá nenhum meio para aumentar o capital e a sociedade será quase estacionária. Se o consumo excede a produção, em cada período subsequente a sociedade será mais mal abastecida, e sua prosperidade e população declinarão. (Malthus, 1996, p.33-4)

Verifica-se que, nesse esquema proposto pelo autor, as ações dos indivíduos não são intencionais, uma vez que não é possível prever as consequências das suas decisões de fertilidade nem se esta resultará em um equilíbrio demográfico.

Já a avaliação acerca da contribuição de Ricardo apresenta algumas divergências entre os autores que procuraram estabelecer relações entre ele e a abordagem dos sistemas complexos. Para Foley (2003), o estado estacionário, para o qual tenderia a economia capitalista em função do rendimento marginal decrescente da terra, proposto por Ricardo, apresenta-se como um estado auto-organizado de um sistema que se adapta e muda. Tal perspectiva pode ser avaliada no trecho abaixo. Para Ricardo (1996), se

existisse terra fértil em quantidade muito maior do que a requerida para a produção de alimentos para uma população crescente, ou se o capital pudesse ser aplicado indefinidamente na terra antiga sem retornos decrescentes, não poderia haver elevação da renda, pois esta procede invariavelmente do emprego de uma quantidade adicional de trabalho com um retorno proporcionalmente menor. [...] Mas como [...] As terras mais férteis e mais favoravelmente localizadas serão cultivadas primeiro, e o valor de troca de seus produtos será ajustado da mesma forma que o de todas as demais mercadorias, isto é, pela quantidade total de trabalho necessário, sob várias formas, da primeira à última, para produzi-los e colocá-los no mercado. Quando a terra de qualidade inferior começa a ser cultivada, o valor de troca dos produtos agrícolas aumenta, pois torna-se necessário mais trabalho para produzi-los. (p.52-3)

Como consequência desse quadro, a taxa de lucro dos capitalistas tende a ser reduzida, até que alcance um determinado nível que os leva a interromper as suas respectivas atividades produtivas, conduzindo a economia ao chamado estado estacionário.

Para Foley, esse estado estacionário apontado por Ricardo

não vem a ser um equilíbrio microeconômico em que os agentes se põem voluntariamente, mas um estado auto-organizado de um sistema complexo que continuamente se adapta e muda. O estado estacionário é um resultado macroeconômico gravitacional. (2003, p.5)

Colander (2000), por outro lado, argumenta que a busca de Ricardo por um sistema de equilíbrio único conduziu a uma simplicidade estrutural que o afasta da abordagem dos sistemas complexos.

Nos trabalhos de Marx, tanto Foley (2003) quanto Colander (2000) identificaram elementos da abordagem da complexidade. Segundo Foley (2003), Marx

procurou descobrir regularidades agregadas na economia capitalista que não dependessem apenas do comportamento detalhado dos indivíduos. [...] Além disso, Marx [...] pôde alcançar conclusões analíticas fortes e gerais sobre o desenvolvimento econômico capitalista sem se limitar a modelos particulares e implausíveis. (Foley, 2003, p.5)

O tema é polêmico, mas Foley (2003, p.6) argumenta que a introdução por Marx, na economia política, da linguagem da dialética pode ser entendida como uma tentativa de encontrar uma linguagem precisa para discutir o fenômeno dos sistemas complexos e da auto-organização.

Associada a essa linguagem, Marx desenvolveu a concepção materialista da história para explicar o modo de produção tipicamente capitalista, que, segundo Foley (2003), apesar de apresentar uma característica de auto-organização dos sistemas, encontra-se em desenvolvimento constante.

Cabe ressaltar, ainda, que essa concepção desenvolvida por Marx representa o seu método de fazer “economia política”, e evidência, acima de tudo, como as relações de produção são complexas quando avaliadas por esse enfoque. Tal afirmativa pode ser corroborada na passagem a seguir:

Quando estudamos um país dado do ponto de vista da economia política, começamos por sua população, a divisão desta em classes, seu estabelecimento nas cidades, nos campos, na orla marítima; os diferentes ramos da produção, da exportação e a importação, a produção e consumo anuais, os preços das mercadorias, etc. Parece mais correto começar pelo real e o concreto, com o pressuposto efetivo; assim, pois, por exemplo, na economia, pela população, que é a base e o sujeito de todo o ato social de produção. Todavia, bem analisado, este método seria falso. A população é uma abstração se deixo de lado as classes a que compõe. Estas classes são, por sua vez, uma palavra vazia se ignoro os elementos sobre os quais repousam, por exemplo: o trabalho assalariado, o capital etc. Estes supõem a troca, a divisão do trabalho, os preços etc. (Marx, 2003, p.410-1)

É nesse sentido que Marx (2003) propõe a sua forma distinta de fazer ciência, que, ao inverter a ordem de análise, parte do abstrato para o concreto, de tal modo que as determinações abstratas, ou as partes que compõem o fenômeno analisado, levam à reprodução do concreto por meio do pensamento.

De maneira geral, Foley considera que a auto-organização é independente do modo de funcionamento particular das partes, uma vez que “tendem a continuar funcionando mesmo se algum dos seus subsistemas deixa de funcionar” (2003, p.5). O autor considera que os sistemas complexos são determinados, uma vez que

é possível relacionar as interações dos milhares de componentes ao comportamento agregado, [...] mas o mesmo não é predeterminado [...] no sentido de que é impossível descobrir o caminho exato que percorre no seu processo de desenvolvimento. (2003, p.6)

Ainda segundo Foley (2003), é nesse ponto que reside a principal diferença entre os sistemas de equilíbrio e os sistemas complexos, uma vez que o primeiro tende a regressar a estados considerados

predeterminados, enquanto os últimos experimentam evolução e finais abertos.

Principais características

A perspectiva da complexidade, de maneira diferente da economia neoclássica padrão, procura utilizar fundamentos mais abrangentes e flexíveis para analisar a realidade econômica, e introduz questões como: a possibilidade de interação direta entre agentes heterogêneos e dispersos pelo sistema, a inexistência de um controlador global absoluto, a existência de diversos níveis de organização hierárquica, a possibilidade de adaptação contínua entre os agentes que acumulam experiências, e, por fim, a renovação constante dos processos produtivos que conduz a economia para fora do equilíbrio (Arthur, Durlauf & Lane, 1997).

Nicolis & Prigogine (apud Wible, 2000) desenvolveram um trabalho sobre complexidade no campo das ciências naturais do qual é possível extrair importantes aplicações dessas ideias na sociedade. Os autores argumentam que durante três séculos a história da ciência seguiu a teoria newtoniana, na qual as leis do universo eram vistas como reversíveis e deterministas. Porém, diante da incapacidade de fornecer respostas para importantes questões, os cientistas passaram a considerar que as leis do universo são estocásticas e irreversíveis, uma vez que na realidade se verifica que o mundo exhibe diversidade, evolução e instabilidades, e desse modo pode estar longe dos estados de equilíbrio.

Assim, de maneira diferente do reducionismo dos mecanismos newtonianos, que reduz os fenômenos complexos de maneira completa, objetiva e determinista, os sistemas complexos implicam pluralismo, multiplicidade e coexistência de diferentes fenômenos, tornando qualquer reducionismo impossível, já que são sistemas compostos por unidades interagindo, e exibem propriedades emergentes que não podem ser meramente reduzidas às propriedades das partes.

Apesar disso, são sistemas capazes de se auto-organizar e criar novos padrões de atividades e estruturas, influenciando o comportamento de outros agentes. Tais sistemas são vistos como sistemas dinâmicos que tanto podem se manter (sistemas conservadores) como podem se desenvolver ao longo do tempo (sistemas dissipadores).

Segundo Wible (2000), os sistemas dinâmicos complexos requerem novas concepções de ordem além de equilíbrio. Assim, esses sistemas podem se caracterizar como sistemas mecânicos, situação na qual o equilíbrio ocorre quando todas as forças do sistema somam zero, e desse modo o equilíbrio é atingido sem que haja perda de energia. Esse sistema pode ainda ser um sistema não mecânico, situação na qual uma ordem ou padrão é definido como *steady state* e, nesse estado, o movimento não é padronizado, mas sim aleatório e móvel; e por fim também é possível que os sistemas complexos estejam em estados bastante distantes do equilíbrio e nesses estados a auto-organização de novos padrões pode emergir.

De acordo com essa abordagem, é mais provável que a economia esteja fora do equilíbrio, e tal característica permite que esses modelos lidem com mudança e variedade e, consequentemente, com sistemas capazes de gerar inovações, os quais não tenderão a estados de equilíbrio.

Apesar da consideração da existência de ordem e regularidade, ou ainda da emergência de estruturas organizadas, na abordagem *agent-based*, a possibilidade de mudança constante no sistema e também a possibilidade do surgimento de comportamento perpetuamente novo e criativo afastam a economia do *steady state*. Nos casos em que o equilíbrio é possível, pode haver mais do que um padrão de consistência, conduzindo a uma situação de múltiplos equilíbrios no sistema (Arthur, 2005).

Esses modelos estocásticos formados por entidades que interagem entre si podem ser executados em computador e, a partir disso, torna-se possível extrair regularidades agregadas ou estruturas organizadas que, na maioria das vezes, estão em condições bastante distantes do equilíbrio. A modelagem tem por principal

objetivo descobrir as propriedades emergentes desses sistemas. Desse modo, como argumenta Foley (2003):

A teoria da complexidade representa um ambicioso esforço para analisar o funcionamento de sistemas descentralizados, mas altamente organizados, compostos por um número muito grande de componentes individuais. (p.1)

Algumas características permitem identificar a economia como um sistema complexo, dentre as quais o fato de haver a interação de inúmeros indivíduos que apresentam um comportamento heterogêneo, inteligente e adaptativo, que lhes permite reagir às mudanças que ocorrem ao seu redor. Trabalham com a possibilidade de interação entre os agentes componentes, os quais são capazes de se desenvolver e se adaptar ao ambiente, que está em constante mudança, gerando com isso novos padrões de auto-ordenamento e estruturas emergentes (Foley, 2003).

Nesse sentido, esses padrões de auto-ordenamento não resultam apenas do agregado das partes, mas também da interação entre elas, e,

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 interação 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 interação de seus elementos. (Freitas, 2001, p.15)

A possibilidade de interação entre os agentes faz com que as ações, estratégias e expectativas de uns estejam relacionadas e dependam das ações, estratégias e expectativas de outros agentes.

Segundo Arthur (2005), tais movimentos, isto é, tais interações, são sempre realizados na expectativa de algum resultado, que pode ser determinado coletivamente, o que significa que depende dos resultados das ações de outras pessoas.

Em casos como este, os agentes procuram prever o resultado que será alcançado, mas suas ações baseadas em suas previsões determinam esse resultado. Então a situação é autorreferencial:⁴ os agentes estão tentando formar expectativas sobre um resultado que se apresenta como função das suas expectativas. Ou, para ir além disso, suas escolhas de expectativas dependem das suas próprias escolhas de expectativas. (Arthur, 2005, p.7)

Vale notar que tais interações não são reguladas por um controlador global, mas são mediadas por instituições, regras e associações que estão sempre se alterando de tal modo que seus comportamentos e estratégias são revisados, e mudanças estruturais são introduzidas ao longo do tempo conforme os agentes adquiram novas experiências. Com isso é possível dizer que esses sistemas estão em constante processo de evolução, e a consideração dessa estrutura dinâmica conduz a economia para fora do equilíbrio.

Disso segue que a abordagem da complexidade está interessada em entender como o comportamento se ajusta conforme a situação

4. Um exemplo de autorreferência é o problema do Bar El Farol desenvolvido por Arthur (1994). Nesse modelo, as pessoas precisam decidir se vão ou não a um bar que tem uma capacidade máxima de cem pessoas, mas que consegue acomodar de maneira confortável e oferecer bons serviços quando há no máximo sessenta. Portanto, sessenta pessoas é a frequência desejável. Nesse modelo, os agentes tomam suas decisões de frequência com base nos seus processos cognitivos (que são limitados). A partir disso, eles formulam as suas expectativas de quantos agentes irão comparecer. Os agentes alteram seu comportamento quando suas expectativas que funcionam como regras de comportamento conduzirem a resultados ruins, isto é, a uma situação em que o bar esteja vazio ou cheio demais. Dessa forma, o resultado final depende do próprio comportamento dos agentes, mas também depende do que os agentes imaginam ser o resultado final e por isso se diz que a situação é autorreferencial.

se desenrola, isto é, está interessada no processo e não apenas no resultado ou no equilíbrio. Ademais, essa abordagem possui uma visão pluralista na qual os agentes são dotados de capacidade cognitiva limitada, uma vez que habitam um mundo que está em constante processo de evolução. Assim, não é possível dizer que os agentes otimizam no sentido padrão, mas eles se adaptam e aprendem e com isso adquirem experiências que lhes permitem escolher a melhor ação possível, e, de acordo com Arthur, Durlauf & Lane (1997, p.10), “esse processo de aprendizado e influência acontece por meio de redes de interação social nas quais os agentes estão embutidos”.

Enquanto na análise do equilíbrio geral os agentes não interagem diretamente, mas apenas por meio de mercados impessoais, na perspectiva da complexidade, as estruturas baseadas em redes se tornam importantes, de tal modo que toda ação econômica envolve interação entre os agentes, e tais ações são estruturadas por regras sociais emergentes e por instituições.

Bowles (2004) desenvolve uma análise cujo interesse é explicar como os indivíduos e as instituições interagem para produzir resultados agregados ao longo do tempo. Para tanto, considera diferenças na experiência histórica, nas instituições e no comportamento.

Segundo o autor, as interações econômicas e sociais entre os indivíduos não são sempre reguladas por contratos completos, como sugere a abordagem tradicional, sendo bastante frequentes interações não contratuais que não possuem como resultado um equilíbrio. Nesse contexto, os indivíduos que são heterogêneos e versáteis possuem interesses diferentes, mas são capazes de se adaptar às diferentes situações. E é a partir das suas experiências passadas e do seu conhecimento adquirido ao longo do tempo que eles agem em busca de seus objetivos.

Ainda segundo Bowles (2004), essas interações econômicas e sociais conduzem a *feedbacks* positivos, os quais são bastante sensíveis às condições iniciais, uma vez que pequenas alterações nessas condições geram um resultado bastante diferenciado, tornando o

resultado do sistema imprevisível e de difícil monitoramento. Disso segue que, na presença desses *feedbacks*, pode haver mais do que um estado estacionário, cujos múltiplos estados de equilíbrio podem ser deslocados apenas através de choques exógenos.

Como visto anteriormente, dentre os objetivos da economia computacional *agent-based* está entender como o equilíbrio é formado ou ainda como a economia se comporta fora do equilíbrio, situação na qual deve ser vista como: um processo dependente da trajetória (*path-dependent*), o que implica que os resultados atuais do sistema dependem de resultados anteriores; orgânico, isto é, cuja mudança afeta as propriedades dos seus componentes; e evolutivo, o que significa que está em constante desenvolvimento (Arthur, 2005).

A economia deve ainda ser vista como um processo emergente, o que significa dizer que as propriedades agregadas não são uma mera reflexão das propriedades das unidades constituintes do sistema, o qual se auto-organiza e gera novos padrões a partir disso.

Em economias fora do equilíbrio, as propriedades orgânicas criam padrões que influenciam o comportamento dos agentes. Segundo essa concepção, os agentes estão em um constante processo de aprendizado e, diante de mudanças no meio, seu comportamento será modificado; com isso, certos padrões econômicos que garantiam o equilíbrio da economia podem se modificar, afastando a economia do *steady state* (Arthur, 2005). A modelagem *agent-based* supera, assim, a preocupação reducionista com a estabilidade do equilíbrio, sem negar, com isso, a ocorrência de padrões ou regularidades.

Dada a complexidade dos fenômenos econômicos, esses sistemas são de difícil previsão. Além disso, devido às interações não lineares, estocásticas e de difícil previsão desses sistemas, torna-se difícil expressar o resultado das interações matematicamente, isto é, a partir do uso das técnicas analíticas tradicionais, uma vez que são sistemas imprevisíveis e incontrolláveis. Em ambientes como esse faz-se, portanto, necessária a utilização de técnicas de modelagem computacional baseadas no agente, que permitem a análise

do comportamento fora do equilíbrio e, portanto, a construção de modelos mais realistas.

Tais simulações são capazes de extrair (prever) as regularidades (padrões) que governam esses sistemas que são vistos como auto-organizados, adaptativos e funcionando de modo não equilibrado. E tais processos, gerados em computadores, imitam os processos econômicos da vida real.

Segundo Arthur, Durlauf & Lane (1997), os sistemas que apresentam as propriedades descritas anteriormente, caracterizados como sistemas complexos que se desenvolvem, passaram a ser chamados de redes não lineares adaptativas, e uma característica importante dessas redes é que os agentes formam expectativas, criam modelos e tomam decisões com base nas previsões geradas por esses modelos.

Esses estudos *agent-based* estão bastante próximos da abordagem evolucionária e tal aproximação decorre do fato de que essa abordagem compartilha uma visão distinta de mundo, no qual os agentes operam. Nessa perspectiva, os “agentes diferem na maneira que reagem a padrões agregados; têm diferentes particularidades, diferentes histórias e diferentes psicologias. Isto é, os agentes são adaptativos e heterogêneos” (Arthur, 2005, p.3). Mais especificamente, no que concerne às discussões acerca de inovação e mudança tecnológicas feitas pela abordagem da simulação baseada no agente, verifica-se que grande parte desses estudos foram iniciados e têm sido conduzidos a partir do trabalho de Nelson & Winter ([1982]/2005), o qual é capaz de lidar com simulações computacionais. Mas, como será visto mais adiante, teóricos posteriores foram capazes de ampliar as fronteiras de pesquisa e de introduzir novas técnicas de modelagem.

Entretanto, na visão de Colander (2000), a economia da complexidade, quando segue as diretrizes do Instituto Santa Fé, está mais próxima da economia padrão⁵ do que das escolas de pensa-

5. Aqui vale destacar que Colander não está defendendo que a abordagem dos sistemas complexos tenha se desenvolvido da abordagem padrão.

mento heterodoxas, apesar de estas últimas fornecerem muitos dos seus argumentos para a economia da complexidade. O argumento do autor em favor da maior proximidade da economia da complexidade com a economia padrão está relacionado ao foco de ambas na matemática e na formalização científica. E isto porque, como visto anteriormente, a abordagem tradicional busca, a partir da estrutura estática linear, simplificar a estrutura. A abordagem dos sistemas complexos tem um objetivo similar, isto é, identificar padrões em estruturas simplificadas, mas aqui, diferentemente, como foi visto, essa análise é feita em modelos dinâmicos não lineares e o instrumento de análise é a modelagem computacional.

Apesar da consideração da existência de ordem e regularidade, ou ainda da emergência de estruturas organizadas nesses sistemas, existe a possibilidade de sistemas genuinamente novos e criativos que podem configurar o aparecimento de novas espécies, isto é, o aparecimento de novidades no sistema ou de novos padrões de comportamento. E diante da possibilidade da existência de “novidade genuína”, esses sistemas passam a ser modelados como se exibissem certos padrões previsíveis, já que são limitados a uma fronteira na qual não é possível gerar novas dimensões. Tal forma de determinação estocástica é considerada limitada, uma vez que, diante de uma situação em que haja “novidade genuína”, a ação humana pode conter elementos de indeterminação e, portanto, ser de difícil previsão (Hodgson, 1999, p.143). Essa dificuldade de incorporar novidade genuína pode ser apresentada como uma das limitações desses modelos, mas não é capaz de tirar a importância dessa abordagem para o estudo dos fenômenos que envolvem inovações.

Instrumentos teóricos

Em sistemas complexos, caracterizados como dinâmicos e não lineares, as respostas às mudanças observadas no meio variam em

diferentes escalas e intensidades, devido à presença de *feedbacks* positivos e negativos, podendo gerar diferentes resultados no sistema, pois, na presença de *feedbacks* positivos e negativos, os efeitos não são proporcionais à suas causas. Enquanto os primeiros ampliam o efeito das flutuações tornando o sistema imprevisível, os *feedbacks* negativos reduzem esse efeito, tornando o sistema mais estável, porém incontrollável. Portanto, interações nos sistemas complexos caracterizam-se como imprevisíveis e incontrolláveis (Heylighen, 2008).

Diante da consideração de que os indivíduos interagem e de que estão conectados, é possível afirmar que mudanças em determinado período de tempo e local influenciarão as mudanças em outros tempos e locais, mas, devido à presença de *feedbacks* positivos e negativos, é difícil prever essa influência e, portanto, o efeito da implementação de determinadas ações (Heylighen, 2008).

Além disso, devido à particularidade dos resultados, não é possível estabelecer qualquer propriedade geral a respeito dessas interações e padrões criados. Portanto, a multiplicidade de graus de liberdade e autorreferências dificulta a previsão e a estabilidade e apresenta-se como um problema para esses sistemas. Todavia, Foley (2003) considera ser possível identificar as relações que causam a auto-organização e a partir disso formular leis tendenciais.

A teoria dos sistemas complexos, nesse sentido, apresenta-se como uma alternativa aos modelos deterministas tradicionais que admitem total previsibilidade dos resultados, e como um importante instrumento de análise. De maneira diferente, propõe que os parâmetros do modelo e as propriedades dos agentes podem ser modificados como resultado de sua interação. Essa teoria utiliza métodos altamente empíricos e indutivos e em função disso busca construir modelos particulares, simplificados e abstratos a partir da interação de inúmeros componentes em simulações computacionais. Tal método tem o objetivo de identificar as propriedades de adaptabilidade e auto-organização que são características desses sistemas. Busca, com isso, identificar como os padrões que

emergem a partir da interação desses indivíduos são formados (Foley, 2003).

Apesar da dificuldade de prever o resultado das interações e dos padrões criados, haja vista que o sistema está em constante processo de desenvolvimento, é possível extrair algumas considerações gerais, ou regras a respeito das ações dos agentes nessa estrutura. Essas regras determinam o comportamento dos agentes e podem ser transformadas ou ainda combinadas com as regras de outros agentes e procuram poupar energia. Esse processo se dá através da coevolução entre os agentes, os quais tendem a escolher as melhores preferências, isto é, aquelas que lhes fornecem os melhores resultados e, portanto, o menor gasto de energia, em detrimento das menos favoráveis que, por outro lado, tendem a ser eliminadas.

Vale dizer que, dada a possibilidade de interação, as escolhas de determinados agentes irão influenciar na escolha e decisão de outros, e é nesse sentido que é possível dizer que interação exibe sinergia. Como assinala Heylighen (2008), o alcance desse estado sinérgico resultante da interação entre os agentes consiste num processo de tentativa e erro ou variação e seleção. E acrescenta Heylighen:

Para explorar os possíveis comportamentos do sistema, muitos caminhos diferentes – com diferentes condições iniciais ou variações aleatórias durante o processo – da simulação são desempenhados. Esses valores são analisados estatisticamente para descobrir tendências recorrentes. [...] Na maioria dos casos, os resultados podem ser classificados em um número relativamente pequeno de categorias distintas. E isso fornece aos pesquisadores uma figura qualitativa dos resultados mais prováveis – e uma compreensão dos fatores que promovem um resultado em vez de outro. [...] E o que faz os sistemas complexos tenderem a um determinado arranjo dentro de um grupo relativamente pequeno de comportamentos identificáveis é a sua tendência inerente à auto-organização. (Heylighen, 2008, p.5)

Um exemplo a ser utilizado mais adiante consiste na adoção por determinada empresa de uma inovação tecnológica que se mostra produtiva e rentável. Verificar-se-á que, diante da possibilidade de interação, tal ação pode se mostrar atrativa para outras empresas, poupando o gasto de energia das demais empresas que, por sua vez, tenderão a seguir medidas atrativas antes implementadas pela primeira.

O objetivo dos agentes nesses sistemas não é meramente maximizar a utilidade individual, mas minimizar o atrito e as fricções e maximizar a sinergia, reduzindo assim a instabilidade do sistema (Heylighen, 2008). Não são, portanto, indivíduos egoístas como sugere a abordagem tradicional, mas sim cooperadores. Ademais, diante da dificuldade de previsão, as ações são testadas ou mesmo escolhidas aleatoriamente, e aquelas que se mostrarem mais estáveis e adaptadas serão mantidas e multiplicadas, enquanto as instáveis serão descartadas. Elas podem ainda ser alteradas por aprendizado. Vale dizer que esse processo é semelhante à seleção natural biológica.

Em sistemas complexos auto-organizados, as interações locais resultam em coordenação global e sinergia e afetam o sistema como um todo. Aqui, a estrutura global tem propriedades emergentes e, portanto, não é uma mera composição das partes individuais, mas sim um processo coletivo que depende das interações dos indivíduos componentes, os quais se encontram conectados, motivo pelo qual são continuamente afetados pelas decisões dos demais agentes no sistema, uma vez que a ação de um agente gera reflexos sobre os demais. De acordo com Heylighen, “os agentes codesenvolvem, um se adapta ao outro, até que eles se ajustam mutuamente” (2008, p.7). A estrutura que emerge da auto-organização pode ser representada como uma rede complexa que conecta os agentes e exhibe propriedades de grupo.

Heylighen (2008) assinala ainda que esse processo de interação e coordenação local gera organização global. Isto significa dizer que, quando os agentes alcançam um “estado ajustado”, se define uma “construção estável” que outros agentes desejarão alcançar,

aumentando assim o tamanho dessa construção estável e desejável até que ela abarque o sistema global e afete o sistema como um todo. O autor cita como exemplo os processos de organização física que compreendem agentes idênticos ou similares com objetivos e desejos também similares no qual a solução de um agente tende a satisfazer a de outro, resultando em uma estrutura global uniforme e regular.

Por outro lado, em sistemas complexos imprevisíveis, incontrolláveis e compostos por agentes heterogêneos, como o caso do ecossistema ou em um mercado, “cada um precisa explorar uma ordem para encontrar seu único espaço em um meio que continua a se desenvolver” (Heylighen, p.7). Como visto anteriormente, diante da possibilidade de interação, o comportamento de uns agentes, influenciará o comportamento de outros seguindo um processo parecido com a seleção natural, uma vez que as interações sinérgicas são preferíveis às outras.

Essas interações estabilizadas podem, segundo Heylighen (2008), ser chamadas de “laço, relação ou elo”, e as diferentes interações sinérgicas constituem uma rede complexa que tem diferentes particularidades e exibe características específicas que são definidas estatisticamente, isto é, certas características aparecem com uma probabilidade maior do que outras.

Foley (2003) aponta que os sistemas complexos e sua tendência à auto-organização podem ser modelados por meio de equações diferenciais, que matematicamente têm como ponto de repouso um equilíbrio. Entretanto, o autor aponta para a existência de uma distinção entre os conceitos de auto-organização e equilíbrio e, também, para a existência de várias noções de equilíbrio, dentre as quais se destaca a de equilíbrio termodinâmico, que denota equilíbrio no nível macro mesmo que o sistema esteja constantemente em mudança e haja desequilíbrios no nível micro.

Segundo o autor, essa noção de equilíbrio termodinâmico tem alguma semelhança com a auto-organização de um sistema complexo, mas difere da abordagem econômica tradicional, uma vez

que nesta última é o equilíbrio no plano individual, ou seja, no nível micro que garante o equilíbrio no agregado (macro), o que implica uma entropia nula.

Apesar de o equilíbrio termodinâmico ser um raciocínio próximo da abordagem dos sistemas complexos, Foley (2003) sustenta que a auto-organização

não pode ocorrer em um sistema dinâmico estável, o qual tende a colapsar todas as estruturas em um estado de equilíbrio estável. Auto-organização também é insustentável em um sistema localmente instável [...] Assim, [...] estruturas auto-organizadas são características de sistemas que não são matematicamente nem localmente estáveis nem localmente instáveis, os quais podem favorecer e reproduzir estruturas identificáveis ao longo de grandes períodos de tempo. (Foley, 2003, p.9)

A auto-organização dos sistemas complexos, portanto, consiste num processo de coevolução e sinergia, o que os distancia da abordagem neoclássica, na qual a entropia é nula, e dos equilíbrios termodinâmicos, nos quais a entropia é máxima. Esses sistemas, de maneira diferente, consideram que existe perda de energia, mas essa perda não é máxima, e o objetivo dos indivíduos consiste justamente em diminuir essa perda de energia.

Assim, é possível dizer que os sistemas complexos estão situados entre a ordem da abordagem tradicional e a desordem do equilíbrio termodinâmico, pois não são nem plenamente regulares e previsíveis nem aleatórios e caóticos, exibindo uma mistura das duas dimensões, já que é possível verificar certos padrões regulares nessa estrutura (Heylighen, 2008).

Economia computacional

Para o estudo de sistemas econômicos dinâmicos que exibem assimetria de informação, competição imperfeita, interação entre

os agentes, informação limitada, aprendizado e a possibilidade de equilíbrio múltiplo se faz necessário o uso de ferramentas computacionais. Para Axelrod & Tesfatsion (2005), a modelagem baseada no agente (ABM) aplicada a processos sociais utiliza conceitos e ferramentas da ciência social⁶ e da ciência computacional. Tal proposta também ficou conhecida como ACE (*Agent-based Computational Economics*).

Esse método é apropriado para estudar sistemas dinâmicos compostos por agentes que interagem e sistemas que exibem propriedades emergentes, isto é, propriedades que surgem das interações das unidades e que não podem ser reduzidas à mera agregação das partes. Em situações como essa – em que o resultado da interação é incerto e na qual os agentes se adaptam continuamente –, a análise matemática encontra limites para derivar consequências dinâmicas, de tal modo que a modelagem ACE se apresenta como um método mais eficaz.

Segundo Tesfatsion (2005), em modelos desse tipo, os agentes devem ser livres para se comportar de acordo com as suas convicções, preferências, instituições e circunstâncias físicas, as quais podem variar ao longo do tempo. Além disso, na modelagem ACE existe a possibilidade de aprendizado que também pode variar com o tempo e, com isso, os diversos agentes podem ter diferentes visões sobre o mundo:

os microagentes repetidamente se empenham em interações locais, produzindo regularidades globais [...] Essas regularidades globais se regeneram em direção à determinação das interações locais. O resultado é um complexo sistema de laços de regeneração interdependentes que conecta comportamentos micro, padrões de interação e regularidades globais. (Tsfatsion, 2005, p.4)

6. O interesse da ciência social é entender como os indivíduos se comportam e interagem e ainda como essa interação conduz a resultados agregados (Axelrod & Tesfatsion, 2005).

Nesse tipo de modelagem, o modelador ACE constrói computacionalmente um mundo econômico que inclui múltipla interação de agentes e observa o desenvolvimento desse mundo ao longo do tempo. Tal método “inicia com hipóteses sobre os agentes e suas interações e então utiliza a simulação de computador para gerar histórias que são capazes de revelar as consequências dinâmicas dessas hipóteses” (Axrelrod & Tesfatsion, 2005, p.2).

O estado inicial de um sistema econômico é então especificado pelo modelador a partir dos dados iniciais dos agentes, dos seus métodos comportamentais e do grau de acessibilidade desses dados e métodos aos outros agentes. Como assinala Tesfatsion (2005), alguns desses dados e métodos comportamentais são publicamente acessíveis a todos os agentes, enquanto outros são privados e há, ainda, aqueles que são protegidos do acesso de outros agentes. E é a partir desses métodos públicos e protegidos que os agentes podem se comunicar uns com os outros.

Vale destacar, novamente, que nesses sistemas não existe a figura de um planejador central como na abordagem tradicional; apesar disso, é possível extrair padrões e regularidades a partir das interações entre os agentes e esse método permite aumentar o entendimento sobre os sistemas.

Segundo Tesfatsion (2005, p.8), os dados dos agentes devem incluir:

seu tipo de atributo (mundo, mercado, firma, consumidor); seus atributos estruturais (geografia, desenho, função custo, função utilidade) e ainda a informação sobre os atributos dos outros agentes.

O método do agente, por sua vez, deve incluir:

métodos comportamentais institucionalmente constituídos (leis antitruste, protocolos de mercado), assim como métodos comportamentais privados (produção e estratégia de preço, algo-

ritmos de aprendizado para atualização de estratégias) e métodos para métodos que são variáveis (como exemplo, métodos para se mover de um algoritmo de aprendizado para outro). Isto significa que [...] o modelo ACE resultante deve ser dinamicamente completo [...], o que significa que o sistema econômico modelado deve ser capaz de se desenvolver sozinho ao longo do tempo, apenas sobre as bases das interações dos agentes, e sem intervenções do modelador. (Tsfatsion, p.8)

Uma das vantagens da modelagem ACE em relação à abordagem padrão é que admite a possibilidade de aprendizado e comunicação entre os agentes. Além disso, o agente aqui possui mais autonomia, isto é, maior capacidade de aprendizado, do que o da abordagem padrão. Essas capacidades incluem diversas habilidades, dentre elas: a habilidade de comunicação social, a habilidade de aprendizado com base na experiência dos outros, a habilidade de formação e manutenção de padrões de interação social, a habilidade de desenvolvimento de percepções compartilhadas, a habilidade de alterar preferências como resultado da aprendizagem, e, por fim, a habilidade de exercer controle ao longo do tempo (Tsfatsion, 2005, p.11).

Essas características de flexibilidade, autonomia e robustez do processo de auto-organização criam padrões e estruturas que são distribuídas por todo o sistema e permitem que os sistemas complexos se desenvolvam e se adaptem a meios em mudança.

Ao desconsiderar as hipóteses restritivas com que trabalha a abordagem padrão e fornecer ferramentas conceituais e de modelagem que permitam a análise do comportamento fora do equilíbrio, a teoria dos sistemas complexos mostrou-se bastante apropriada para discutir o processo de inovação tecnológica, fornecendo um entendimento mais satisfatório e mais condizente desses fenômenos.

Entretanto, esses modelos requerem a construção de modelos econômicos dinamicamente completos e especificações iniciais detalhadas para os dados dos agentes, além de métodos que deter-

minem seus atributos estruturais, arranjos institucionais e disposições comportamentais. De acordo com Arthur (2005), isso encoraja hipóteses comportamentais que são *ad hoc*, e, diante disso, alguns pressupostos são adaptados apenas por conveniência, o que significa que os modelos são ajustados para encaixar os fatos estilizados estabelecidos pela teoria. Um estudo didático de sociedades artificiais desenvolvido por Epstein & Axtell (1996), em *Growing artificial societies*, mostra que o potencial explanatório dessa técnica é bastante grande.

O capítulo que segue tem como principal objetivo identificar as principais características que permitem pensar o processo de inovações tecnológicas dentro dessa perspectiva, assim como apresentar algumas das limitações que não foram resolvidas.