

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

Caio Felipe Costa Marine

INSTITUIÇÕES        E        SISTEMAS        COMPLEXOS  
ADAPTATIVOS: NOTAS SOBRE MODELOS BASEADOS  
EM SIMULAÇÃO

Rio de Janeiro  
2023

Caio Felipe Costa Marine

**INSTITUIÇÕES E SISTEMAS COMPLEXOS  
ADAPTATIVOS: NOTAS SOBRE MODELOS BASEADOS  
EM SIMULAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto de Economia  
da Universidade Federal do Rio de  
Janeiro como exigência para obtenção  
do título de Bacharel em Ciências  
Econômicas.

Orientadora: Professora Dra. Marília  
Bassetti Marcato

Rio de Janeiro

2023

CIP - Catalogação na Publicação

M338i Marine, Caio Felipe Costa  
Instituições e sistemas complexos adaptativos:  
notas sobre modelos baseados em simulação / Caio  
Felipe Costa Marine. -- Rio de Janeiro, 2023.  
38 f.

Orientadora: Marília Bassetti Marcato.  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto  
de Economia, Bacharel em Ciências Econômicas, 2023.

1. simulações. 2. complexidade. 3. instituições. 4. comportamento. 5. incerteza. I. Marcato, Marília Bassetti, orient. II. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

CAIO FELIPE COSTA MARINE

INSTITUIÇÕES E SISTEMAS COMPLEXOS: NOTAS SOBRE ABORDAGENS  
BASEADAS EM SIMULAÇÕES

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Instituto de Economia da  
Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
como requisito para a obtenção do título  
de Bacharel em Ciências Econômicas.

Rio de Janeiro, 26/04/2023.

---

MARILIA BASSETTI MARCATO - Presidente  
Professora Dra. do Instituto de Economia da UFRJ

---

JULIA FERREIRA TORRACCA-CHRISPINO  
Professora Dra. do Instituto de Economia da UFRJ

---

KAIO GLAUBER VITAL DA COSTA  
Professor Dr. do Instituto de Economia da UFRJ

## RESUMO

Os indivíduos são seres limitados cognitiva e mentalmente e vivem em um ambiente cercado por incerteza. Essas características fazem com que lidamos cotidianamente com situações complexas ao tomarmos alguma decisão. No entanto, as teorias convencionais em economia não fornecem modelos que retratem fidedignamente essa realidade. Com isto, há uma lacuna a ser preenchida por métodos que adotem uma abordagem descritiva da realidade, fundamentados em realismo empírico, e que nos forneça ferramentas mais adequadas para entender a tomada de decisão dos agentes econômicos. Nesse sentido, este artigo tem como objetivo discutir o uso de modelos de simulações como um ferramental adequado para investigar a tomada de decisão dos agentes econômicos em um ambiente marcado pela incerteza. A partir de um diálogo entre a abordagem neoinstitucionalista e a literatura sobre complexidade econômica, o artigo encontra-se dividido em duas partes: a primeira busca entender o mundo em que vivemos, incluindo tanto o ambiente em que estamos inseridos quanto os nossos próprios limites cognitivos e como os contornamos; já a segunda busca discutir abordagens que nos possibilitam modelar essa realidade fundamentados em empiria, mais especificamente discute-se o uso de modelos de simulações, que por meio de métodos computacionais tentam modelar o mundo e seus componentes de forma mais fiel à realidade e, a partir de simulações, fornecer insights acerca do objeto de estudo. Com isso, o trabalho conclui que essas alternativas aos modelos mainstream existem e tem grande aplicabilidade para a análise de sistemas complexos, não só para descrever como esses sistemas evoluem, mas também, em alguns casos, pra gerar cenários possíveis, auxiliando a tomada de decisão.

**Palavras-chave:** incerteza; comportamento; complexidade; instituições; simulações.

## ABSTRACT

Individuals are cognitively and mentally limited beings and live in an environment surrounded by uncertainty. These characteristics mean that we deal with complex situations on a daily basis when making a decision. However, conventional theories in economics do not provide models that faithfully portray this reality. With this, there is a gap to be filled by methods that adopt a descriptive approach to reality, based on empirical realism, and that provide us with more adequate tools to understand the decision-making process of economic agents. In this sense, this article aims to discuss the use of simulation models as an adequate tool to investigate the decision-making process of economic agents in an environment marked by uncertainty. Based on a dialogue between the neoinstitutionalist approach and the literature on economic complexity, the article is divided into two parts: the first seeks to understand the world we live in, including both the environment in which we are inserted and our own cognitive limits and how we get around them; the second seeks to discuss approaches that enable us to model this reality based on empiricism, more specifically, the use of simulation models is discussed, which through computational methods try to model the world and its components more faithfully to reality and, based on simulations, provide insights about the object of study. With this, the work concludes that these alternatives to the mainstream models exist and have great applicability for the analysis of complex systems, not only to describe how these systems evolve, but also, in some cases, to generate possible scenarios, helping decision-making.

**Keywords:** uncertainty; behavior; complexity; institutions; simulations.

## **SUMÁRIO**

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 BREVE EXPLANAÇÃO SOBRE OS POSTULADOS DA TEORIA CONVENCIONAL.....	8
3 DEFINIÇÃO, CAUSAS E EFEITOS DAS INSTITUIÇÕES .....	9
4 ENTENDENDO OS DIFERENTES TIPOS DE INCERTEZA.....	14
5 COMO OS INDIVÍDUOS SE COMPORTAM .....	17
6 SISTEMAS COMPLEXOS ADAPTATIVOS.....	21
7 ABORDAGENS BASEADAS EM COMPUTAÇÃO E SIMULAÇÕES .....	26
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	30

## INSTITUIÇÕES E SISTEMAS COMPLEXOS ADAPTATIVOS: NOTAS SOBRE MODELOS BASEADOS EM SIMULAÇÃO

### 1 INTRODUÇÃO

A discussão sobre a científicidade da ciência econômica é marcada por uma série de disputas metodológicas. Apesar de ser considerada uma ciência nova, a economia possui uma corrente teórica bem consolidada e difundida, usualmente denominada “mainstream”<sup>1</sup> ou “neoclássica”. Tal corrente é caracterizada por se fundamentar em pressupostos que não necessariamente refletem a realidade ou, pelo menos, não o fazem de maneira contundentemente empírica. Quando consideram que os indivíduos agem de forma completamente racional, maximizando suas funções-objetivo, essa corrente deixa de focar em ter uma descrição mais precisa do que se é observado e passa a focar em estabelecer pressupostos que permitem que modelos preditivos sejam construídos, mesmo que com fundamentos mais distantes da realidade.

Outra característica que facilmente percebemos como ausente dos modelos neoclássicos é o tratamento da incerteza. Na verdade, a incerteza ganha o significado específico de ser apenas uma incerteza probabilística, sendo tratada como uma distribuição de probabilidade regular. Isso, como no caso da racionalidade, também permite que se chegue a modelos sofisticados que permitem fazer previsões, mas também se descolam das observações empíricas.

Ademais, é preciso ainda considerar que tais modelos neoclássicos foram originalmente formulados em tempos em que havia recursos limitados para lidar com métodos matemáticos não-lineares. Logo, suas raízes dificilmente poderiam ser outras, tendo sido iniciadas e desenvolvidas com o que era possível à época. Com o incremento crescente da capacidade computacional via sofisticação e eficiência dos computadores, passou a ser possível modelar o mundo à nossa volta de maneira a se aproximar mais do que observamos. Assim, é possível ir além de modelos lineares,

---

1 Ver Dequech (2007) para uma discussão sobre os conceitos ortodoxo, heterodoxo, neoclássico e mainstream.

modelando objetos capazes de se comportarem de diferentes formas em diferentes sentidos, emulando sistemas não-lineares, onde a interação entre objetos não necessariamente tem uma relação de causa e efeito única e proporcional, podendo haver diversos resultados (inclusive o caso linear), abrindo a possibilidade de trajetórias e resultados possíveis diversos.

Este trabalho busca compreender quais são os métodos alternativos à teoria convencional, a partir de um diálogo entre a abordagem neoinstitucionalista e a literatura sobre complexidade econômica, tendo em vista os principais aspectos conceituais e desafios empíricos associados aos modelos de simulação. Para isso, além de tentar entender esses métodos, far-se-á um estudo acerca das características da realidade em que vivemos, visando ter uma fundamentação mais precisa e descriptiva dos objetos estudados pelas ciências econômicas,

A partir disso, em um primeiro momento, buscou-se uma compreensão mais precisa a respeito do mundo em que vivemos e de suas características. Para isso, será necessário discutir quais são os pressupostos neoclássicos e como se relacionam com a realidade. Em seguida abordaremos o que são instituições, o papel das instituições e como elas nos auxiliam a viver em um mundo cercado por complexidade. Elas, por exemplo, podem desempenhar um papel de diminuir a incerteza no ambiente, fornecendo informações sobre como um indivíduo pode agir ou fornecendo um conjunto de regras automáticas que os libera para focar em outros problemas. Elas também moldam e influenciam o comportamento dos indivíduos, que, por sua vez, também influenciam as instituições, alterando-as, excluindo-as ou criando novas. Então a pesquisa abordará o tema da incerteza, expandindo o conceito de incerteza usado na teoria convencional e tentando entender como ela afeta a tomada de decisão dos agentes econômicos, ajudando a criar diversidade no comportamento e aumentar a complexidade, de forma direta, pela lacuna de conhecimento, e de forma indireta, pelo próprio comportamento diverso dos indivíduos. Em seguida, a pesquisa abordará o comportamento não hiper-racional. Neste caso, veremos o conceito de racionalidade limitada e do arcabouço da economia comportamental, que buscam um entendimento de como nos comportamos na realidade, em um ambiente complexo e com incerteza, para tentar generalizar regras de comportamento. A partir daí, a pesquisa discute o conceito de complexidade, perpassando por como a incerteza, o

comportamento e as instituições interagem e constroem um sistema complexo. Em um segundo momento, esta pesquisa busca estudar algumas abordagens com potencial para lidar com a modelagem de sistemas complexos. Essas abordagens permitiriam modelar objetos e suas interações, permitindo acompanhar a dinâmica que ocorre em um sistema complexo. Isto só passou a ser possível em tempos mais recentes, com o avanço das tecnologias da informação que permitem a construção de modelos com equações não-lineares e sua execução por meio de simulações. Mais especificamente, serão expostos três métodos para isso, o bayesiano, o history-friendly e os modelos baseados em agentes. Por fim, teremos a conclusão do trabalho.

## **2 BREVE EXPLANAÇÃO SOBRE OS POSTULADOS DA TEORIA CONVENCIONAL**

Começaremos apresentando algumas considerações de Peñaloza (2018) sobre sua interpretação acerca dos postulados da teoria convencional, utilizando principalmente do princípio da negação para justificar sua razoabilidade e, a partir disso, trabalharmos com uma abordagem alternativa. Peñaloza (2018, p. 26) vai enunciar os seguintes postulados acerca do indivíduo da teoria convencional:

- 1) Cada pessoa deseja uma multiplicidade de bens;
- 2) Para cada pessoa, alguns bens são escassos;
- 3) Uma pessoa está disposta a sacrificar algo de qualquer bem para obter mais de outro;
- 4) Quanto mais se tem de um bem, menor a valoração marginal pessoal desse bem e;
- 5) Nem todas as pessoas têm idênticos padrões de preferência.

Sobre o primeiro postulado, Peñaloza (2018) diz que os indivíduos desejam uma multiplicidade de bens, argumentando que negar esse postulado significa aceitar que pode haver pessoas que só almejam um único bem, o que seria absurdo, pois todas as pessoas precisam de mais do que uma única coisa para viver (inclusive sobreviver). Já sobre o segundo postulado, que diz que para cada indivíduo há um conjunto de bens escassos, Peñaloza (2018) vai alegar que ao negar esse postulado, estaria sendo considerado que existe algum indivíduo que, ou tem acesso ilimitado

aos bens que deseja e/ou não deseja mais bem nenhum, sendo ambos os casos irreais.

A negação do terceiro postulado, que afirma que um indivíduo está disposto a renunciar a uma quantidade de algum bem para conseguir alguma quantidade de outro, significa para Peñaloza que todos os indivíduos não estariam dispostos a abrir mão do que tem para conseguir mais de algum outro bem, logo, significaria que as pessoas pararam de desejar outros bens, seja pelo mesmo motivo de recursos abundantes ou por simplesmente não desejarem mais nada intrinsecamente, sendo ambos os casos absurdos. O quarto postulado, que diz que quanto maior a quantidade de um bem, menor vai sendo o valor marginal que um indivíduo atribui a esse bem, teria, para Peñaloza (2018), o fato de que sua negação implicaria que uma pessoa não se importaria em cada vez que adiciona uma quantidade a mais de um bem abrindo mão de uma quantidade progressivamente maior de outro bem, ou seja, o bem preferido não teria a função de bem (no sentido de algo que o indivíduo almeja), abrindo mão de quantidades cada vez maiores desse bem em relação à um outro bem.

Já o último postulado, que afirma que os indivíduos podem ter padrões de preferência diferentes, é tido como verdadeiro para Peñaloza (2018) porque sua negação implicaria que todas as pessoas possuem a mesma preferência, logo, atribuiriam o mesmo valor para cada bem, impossibilitando as trocas, pois essas decorrem da diferença de valor que cada indivíduo atribui a um bem, pois caso todas as pessoas atribuíssem o mesmo valor, as trocas não ocorreriam porque não haveria um benefício para o indivíduo na troca.

Para Peñaloza (2018), desses postulados seguirão as propriedades (e modelos) que vão caracterizar o modo de proceder do microeconomista, isso de uma forma matemática, ou seja, essas propriedades matemáticas não seriam uma tradução direta do comportamento observado, mas sim frutos dos postulados anteriormente citados. Nisso, haveria uma bifurcação entre os métodos de se chegar a determinada conclusões, haveria o microeconomista, que chegaria através dos cálculos dos modelos matemáticos e o homo oeconomicus que, por sua vez, chegaria aos mesmos resultados, porém, sem fazer uso de função de utilidade ou qualquer outro modelo mais formal, mas sim comparando sua situação atual com uma possível

situação futura e, a partir disso, agindo. Ou seja, se aceitarmos os postulados como caracterizadores da realidade, podemos também considerar que o modelo derivado deles pode ser uma forma de lidar com a realidade, com suas vantagens e limitações.

### **3 DEFINIÇÃO, CAUSAS E EFEITOS DAS INSTITUIÇÕES**

Em um primeiro momento, é necessário o que são instituições. Ao longo do tempo, várias definições de instituições foram propostas, sendo uma das mais comumente utilizadas a de Douglas North (1991, p. 97), que enfatiza a ideia de que instituições são restrições criadas para moldar as interações em um determinado ambiente. Em outras palavras, instituições seriam as regras do jogo. Segundo North (1991), essas regras podem ser tanto formais — como as leis — sendo mais explícitas, quanto informais — como costumes, hábitos, tradições e tabus — já essas, muitas vezes implícitas. Os ambientes onde essas interações ocorrem podem ser os mais diversos possíveis, desde um ambiente econômico até um ambiente estritamente social.

Outro questionamento importante é o motivo pelo qual instituições são necessárias. O próprio North argumenta que as instituições passam a ser essenciais a partir do momento em que há informação incompleta e limites na racionalidade humana (ambos temas que serão melhor tratados adiante), além, é claro, da escassez de recursos. Neste sentido, as instituições serviriam para estruturar melhor as relações de troca em um determinado ambiente onde elas vigorassem, reduzindo a incerteza e tentando trazer certa previsibilidade e consistência ao sistema, isto em uma perspectiva otimista, pois nada impede de que as instituições levem a resultados contrários.

Para Hodgson (1997), Klein (1998) e Marcato (2013), deve-se também considerar a relação entre as regras formais e as regras informais. Tanto uma regra informal pode virar uma regra formal quanto uma regra formal pode se tornar informal. Para isso, podemos estabelecer uma diferença nas características intrínsecas de cada uma. As regras formais comumente têm um caráter deliberativo e consciente, já as regras informais têm um comportamento mais automático e instintivo, como um hábito, por exemplo. Uma regra formal pode se tornar um hábito através da repetição, assim

como um hábito muito difundido pode ser postulado como uma regra formal com o passar do tempo. Outro fenômeno que pode acontecer é uma regra, formal ou informal, cair em desuso. Isto pode ocorrer de diversas formas, uma lei pode entrar em conflito com os hábitos ou costumes de uma determinada população que simplesmente resolve não segui-la, por exemplo. Já um hábito pode simplesmente não fazer mais sentido em um determinado contexto e deixar de existir ou ser substituído por outros hábitos (apertar as mãos em uma pandemia, por exemplo).

Neste trabalho, no entanto, consideraremos instituições de uma forma mais ampla, indo além de uma função estritamente restritiva das instituições. Como propõe Dequech (2006, 2013), instituições aqui serão consideradas como padrões socialmente compartilhados de comportamento e pensamento com alguma recorrência. Ou seja, as instituições teriam uma dimensão tanto comportamental quanto mental. O fato de serem socialmente compartilhadas quer dizer que elas são compartilhadas por motivos sociais, ao invés de uma imposição natural (aspectos genéticos, de meio ambiente e eventos inevitáveis).

Podemos agora então considerar algumas funções que Dequech (2003) aponta que as instituições exercem em um determinado ambiente. Uma delas, como já citamos no início do trabalho, é a de restringir o comportamento econômico. Esta função tem um grande papel em trazer previsibilidade e consistência nas interações entre os indivíduos, pois ela tem a característica de limitar as ações possíveis: dado x faça y ou, dado x não faça y. Isso ajudaria um indivíduo a diminuir a complexidade e incerteza, pois o indivíduo teria uma ideia tanto do que deve fazer quanto do que o outro deve fazer.

Dequech (2003) coloca que a segunda função é a influência que as instituições têm sobre o modo como os indivíduos percebem o mundo, chamada por Hodgson (1989a, p. 110) de função cognitiva. Dequech (2003) vai dividir a função cognitiva em dois tipos: a *função informacional-cognitiva*, que é a informação gerada pelas próprias instituições, como o que um indivíduo provavelmente irá fazer em determinada situação. Já a segunda, chamada de *função cognitiva profunda*, é a influência das instituições sobre a percepção dos indivíduos acerca da realidade, de como elas selecionariam, organizam e interpretariam as informações e a realidade ao seu redor. Logo, podemos ver que essas duas primeiras funções (restritiva e cognitiva) têm uma

certa correlação, uma vez que as restrições diminuem a imprevisibilidade, ajudando o indivíduo a ter um conjunto melhor de informações sobre a realidade em que está inserido e sobre o comportamento de outro indivíduo

A terceira função das instituições apontada por Dequech (2003) seria a sua influência sobre os objetivos dos indivíduos. Isto dá-se porque, pelo menos em parte, os interesses dos indivíduos são moldados culturalmente, absorvendo as instituições (cultura, tradições, costumes, etc.) dos ambientes em que estão expostos, podendo internalizá-las e ter seus objetivos, ideia de obrigações do que devem fazer e o próprio incentivo para se buscar um objetivo influenciados por elas. Um exemplo seriam os valores que a média dos indivíduos em uma determinada cultura podem ser diferentes dos de outra, assim como o que eles buscam ou encaram como aceitável. Esta última função é chamada de função motivacional ou teleológica.

O próximo passo seria explorar alguns diferentes tipos de instituições, para melhor compreender como elas afetam e são afetadas pelos indivíduos. Isso permitiria entender como um determinado padrão de comportamento do indivíduo vinculado a um tipo de instituição evolui no tempo. Alguns tipos de instituições podem se reproduzir mais rápido que outras, algumas podem demorar mais tempo para sofrerem alterações, outras podem estar associadas a comportamentos mais inconstantes (comportamento oportunista quando possível). Dequech (1999, p. 555) define rotinas como atos recorrentes no tempo, assim como os hábitos, onde o último diferencia-se do primeiro por ser executado de forma automática, sem muita deliberação, tornando-o um tipo particular de rotina. Porém, tanto o hábito quanto a rotina não necessariamente são considerados instituições. Para que isso ocorra, é necessário que eles avancem de seu caráter individual para serem socialmente compartilhados.

Já normas sociais, continua Dequech (2009), são padrões de comportamento socialmente compartilhados, de uma forma prescritiva ou não. As normas sociais teriam um caráter mais normativo, estabelecendo regras de conduta e/ou como um determinado indivíduo deve se portar e/ou pensar em determinada situação. Outra característica das normas sociais é que elas são impostas externamente, seja por meio de sanções ou incentivos. Porém, alguns indivíduos podem internalizar uma

norma social, seguindo-a independentemente da existência ou não de sanções externas.

Segundo Dequech (2009), convenções são, por sua vez, padrões de comportamento e pensamento socialmente compartilhados, também podendo ser de uma forma prescritiva. Convenções diferenciam-se das normas sociais por não conter necessariamente um conteúdo normativo, sendo aquelas que contém esse conteúdo normativo uma norma social. As convenções têm dois componentes que as diferenciam das demais instituições: são em boa parte seguidas porque parte relevante da sociedade já as segue (não necessariamente precisando de sanções externas para ser seguida), efeito chamado de conformidade pela conformidade, por Dequech (2009). Também pode conter um componente arbitrário, pois seria possível conceber uma alternativa que substituísse a convenção vigente sem incorrer em uma mudança significativa. Logo, uma convenção pode deixar de existir a partir do momento em que ela para de ser seguida pela maioria dos indivíduos onde ela vigora.

Uma análise menos profunda pode nos levar a crer que não haveria espaço para pensar a mudança quando tratamos das instituições, justamente por estas trazerem previsibilidade e estabilidade a um sistema. Um indivíduo pode agir de forma consciente e racional e ir em confronto com alguma instituição vigente. Essas mudanças podem ocorrer tanto por um evento externo, que força uma mudança no comportamento do indivíduo e das instituições, como por uma deliberação do indivíduo, que por diferentes motivos pode mudar seu pensamento e/ou comportamento, trazendo mudanças ao sistema. Um exemplo desse comportamento divergente e deliberado são as inovações tecnológicas.

Um efeito por muito negligenciado, mas que tem grande relevância e devemos considerar acerca das instituições é como elas afetam o agente internamente. Assim como nosso cérebro interpreta as imagens que nossos olhos veem, as instituições quando são internalizadas nos ajudam a interpretar o mundo à nossa volta e fazer escolhas baseadas nessa interpretação. O conjunto dessas instituições é referido por North (1993) e Denzau e North (2003) como modelos mentais, que serviriam para ajudar o indivíduo a descrever, explicar e prever a realidade em que ele se encontra. Essas instituições têm um forte componente do meio em que o agente está inserido, sendo muito afetada pela cultura, costumes, hábitos e outras instituições informais. As

próprias experiências que o indivíduo vivencia ao longo do tempo no ambiente em que está inserido contribuem para a formação de seu modelo mental, seja pelo reforço de uma escolha acertada, pelo aprendizado de uma que findou frustrada ou pelo aprendizado a partir das ações de outros indivíduos. Isso traz diversidade entre os modelos mentais de agentes que estão em um determinado contexto e, mais ainda, em agentes em contextos diferentes (em lugares e períodos diferentes). No entanto, indivíduos que compartilham o mesmo ambiente, as mesmas experiências e as mesmas instituições terão uma tendência a compartilhar modelos mentais semelhantes que, apesar de diferentes, são compatíveis e convergem, o que ajuda na previsibilidade e estabilidade do sistema, mas ainda permite que haja diversidade.

Com tudo isso, podemos derivar algumas conclusões sobre instituições que serão de valia para o restante do trabalho. As instituições têm uma relação de mão dupla com os indivíduos, um influencia o outro, seja por meio do reforço ou da mudança, ou seja, o comportamento e o pensamento de um indivíduo podem mudar e, mudando, o próprio indivíduo pode alterar as instituições, assim como certas instituições podem se reproduzir e aumentar sua influência sobre os indivíduos, que reforçam essas instituições. Também devemos salientar que as instituições não têm um efeito homogêneo em todos os indivíduos. Quanto mais expostos ao mesmo contexto, mais os indivíduos tendem a se comportar e pensar da mesma forma, porém, longe de ser um comportamento completamente homogêneo. O que não nos impede de tentar conceber alternativas de maneiras de como modelar o comportamento de grupos de indivíduos. Entender a relação entre as instituições e os indivíduos nos permite modelar sistemas que considerem tanto um comportamento padrão quanto comportamentos diferentes, que abrem espaço para a evolução (no sentido de mudança) desse comportamento e do ambiente no tempo. Ao invés de considerar um indivíduo representativo que age da mesma forma em um determinado contexto imutável, podemos considerar diferentes tipos de grupos de indivíduos que agem de forma diferente em um determinado contexto, podendo, inclusive, alterar esse contexto por meio de suas ações, com isso, abre-se espaço para diferentes trajetórias e diferentes resultados possíveis no decorrer da dinâmica de um sistema.

#### 4 ENTENDENDO OS DIFERENTES TIPOS DE INCERTEZA

Como vimos, uma das motivações (ou das causas) das instituições é a incerteza, sendo as instituições um mecanismo útil para diminuí-la e trazer alguma previsibilidade ao sistema. No entanto, existem diversas definições de incerteza para diferentes áreas de estudo. No caso da economia, a definição de incerteza mais difundida é aquela adotada pela teoria econômica convencional. Nesta, de maneira geral, a incerteza é tratada como uma incerteza probabilística bem definida, onde as possibilidades e resultados são limitados e conhecidos (Dequech, 2011).

No entanto, há uma série de interpretações alternativas para o conceito de incerteza. Podemos começar por Knight (1964), que vai diferenciar entre risco e incerteza. Para Knight, o indivíduo viveria em uma realidade onde não seria possível obter um conhecimento perfeito sobre todas as informações disponíveis, tão pouco o indivíduo viveria em completa ignorância. O indivíduo seria capaz de ter um conhecimento parcial sobre a realidade. Considerando isso, Knight (1964) vai fazer a distinção de risco como sendo um tipo de incerteza mensurável, ou seja, uma incerteza que seja possível de ser quantificada e tratada probabilisticamente (semelhante a ideia de incerteza na teoria convencional). Isto permitiria ao indivíduo fazer análises indutivas, tornando possível a aplicação da ideia de raciocínio lógico da teoria convencional. Por outro lado, existiria uma incerteza imensurável, onde não seria possível a quantificação da probabilidade de ocorrência de determinado evento e/ou, inclusive, a incapacidade de saber da existência do conjunto completo de eventos possíveis (caracterizando o conhecimento parcial sobre a realidade), ou ainda pela existência de eventos únicos que também impossibilitariam a obtenção de uma estatística. Mas mesmo nesses casos, segundo Knight (1964), o indivíduo não ficaria necessariamente completamente à mercê do acaso. Ainda seria possível fazer uma estimativa de uma estimativa por meio do julgamento intuitivo e pessoal para a execução do processo decisório, em substituição do método dedutivo, onde o indivíduo poderia se basear no estudo de um grupo de casos passados para derivar uma probabilidade que não se pode mensurar diretamente Knight (1964). O indivíduo faria essa troca de método de estimar eventos valendo-se da sua percepção do mundo e experiências, usando-as como ferramentas para a tomada de decisão, preenchendo

as lacunas deixadas pela impossibilidade de usar o raciocínio lógico (no sentido da teoria convencional) para estimar as alternativas possíveis. Portanto, na concepção de Knight (1964), as pessoas não viveriam em um mundo onde teriam acesso total às alternativas possíveis, elas teriam que lidar tanto com o risco quanto com a incerteza.

Alguns autores seguirão com a diferenciação de Knight e adicionarão mais algumas características acerca da incerteza. Um deles vai ser Shackle (1990 *apud* Marcato e Martinez, 2013), que vai ressaltar a importância de eventos (ações dos indivíduos) que alteram o sistema em que ocorrem, modificando o conjunto de informações disponíveis ao longo do tempo. Isso faria com que fosse impossível fazer estimativas precisas acerca das possibilidades futuras, pois o conjunto de possibilidades e de informações pode ser alterado (possibilidade de eventos anteriormente possíveis podem deixar de existir, assim como novos podem surgir e alguns eventos podem ter suas probabilidades alteradas) a partir de determinadas ações. Com uma ideia similar, Davidson (1982, 1988 *apud* Marcato e Martinez, 2013), vai argumentar que os processos de tomada de decisão da teoria convencional só seriam úteis em sistemas ergódicos. Ele também vai considerar que um sistema seria ergódico quando o futuro fosse uma réplica estatística do passado, o que não seria condizente com a realidade em que vivemos, que seria não-ergódica, sujeita a eventos que alteram as estatísticas de um sistema inicial, criando novas possibilidades.

Seguindo as considerações dos autores anteriores acerca da incerteza, podemos adentrar nos conceitos dos diferentes tipos de incerteza que caracterizam a nossa realidade. Partiremos da interpretação de Dosi e Egidi (1991), que farão a distinção entre incerteza substantiva e incerteza procedural. Para eles, a incerteza substantiva ocorreria quando não fosse possível obter todas as informações necessárias para o processo de tomada de decisão visando um determinado objetivo. Já a incerteza procedural parte da ideia de que, mesmo com todas as informações necessárias disponíveis, um indivíduo seria incapaz de executar o processo de tomada de decisão para alcançar um determinado objetivo sem incorrer em qualquer tipo de erro ou limitação. Essa impossibilidade ocorreria devido aos indivíduos possuírem limitações cognitivas e computacionais para processar todas as informações disponíveis. A incerteza procedural então, pode ser influenciada tanto

pelas capacidades do indivíduo quanto pelo grau de complexidade do sistema em que o indivíduo está exposto. Quanto menor a complexidade (diminuída pelas instituições, por exemplo) e maiores as capacidades do indivíduo (incrementada por aprendizado, recursos tecnológicos, etc.), menor será a incerteza procedural, sendo passível de, no limite, deixar de existir (em situações raras e específicas, pelo menos). Podemos considerar então que mesmo que um ambiente não seja complexo, uma vez que consideramos os indivíduos limitados (computacionalmente e cognitivamente), estes sempre estarão expostos à incerteza procedural.

Dequech (2000, 2001, 2006, 2011) vai fazer uma segunda diferenciação entre tipos de incerteza: incerteza fraca e incerteza forte. Incerteza fraca seria quando um indivíduo é capaz de agir como se tivesse acesso a distribuição de probabilidade ideal de um sistema (seja por, de fato, ter acesso a tal distribuição ou, por agir como se o tivesse). Essa distribuição ideal seria aquela distribuição em que o indivíduo tem plena confiança acerca dela, é aditiva (ele tem todas as probabilidades de eventos possíveis e a probabilidade desses eventos podem ser adicionadas e completam 100% dos eventos que podem ocorrer) e, é única, ou seja, o indivíduo não fica em dúvida entre uma distribuição e outra e, dentro da distribuição considerada, a possibilidade dos eventos ocorrem são pontuais (não em intervalos), também tirando a dúvida entre as probabilidades dos eventos ocorrem dentro de uma determinada distribuição (as probabilidades tem que somar 1 e apenas de uma forma). Podemos então perceber que a incerteza fraca está relacionada com a incerteza substantiva, uma vez que ela depende do acesso ou não as informações necessárias para se formar essa distribuição de probabilidade. Já a incerteza forte ocorre quando justamente não se é possível obter essa distribuição de probabilidade. Essa ausência da distribuição pode ter duas origens: pela própria ausência de informações (relevantes e confiáveis), e/ou pela incapacidade dos indivíduos de lidarem com essas informações quando disponíveis (causadas tanto pelos limites computacionais e cognitivos dos indivíduos quanto pela própria complexidade da situação). Logo, a incerteza forte tem como suas causas tanto a incerteza substantiva como a incerteza procedural.

Outra diferenciação feita por Dequech (2000, 2001 e 2006) é entre ambiguidade e incerteza fundamental. Ambiguidade seria a incerteza originada pela falta de informações relevantes que poderiam ser conhecidas, afetando a construção

das probabilidades. Essa definição, devemos notar, implica que seria possível obter *ex ante* todas as informações necessárias para a construção da distribuição de probabilidade ideal, porém, por algum motivo — pela falta de confiança nas informações disponíveis ou pela própria falta de informação — o indivíduo não as possui. Logo, o caso de ambiguidade ocorreria quando o conjunto de eventos possíveis já está predeterminado, independente das ações do próprio indivíduo, de outros agentes ou, ainda, de outros eventos externos. Em contrapartida, a incerteza fundamental seria caracterizada justamente pela impossibilidade de se conhecer *ex ante* o conjunto de todos os eventos possíveis. Seja por motivo das próprias ações dos indivíduos (que podem agir de forma criativa) ou por qualquer outra razão externa, o futuro ainda estaria para ser definido, com a criação de novas possibilidades, destruição de outras ou, ainda, pela alteração de eventos possíveis. Essas duas distinções podem servir como um exemplo sobre como a incerteza afeta os indivíduos. Uma vez que os indivíduos estão expostos à incerteza fundamental, de forma geral, todos são afetados da mesma maneira por essa incerteza. Como há uma impossibilidade de se saber todos os estados futuros, nenhum indivíduo é capaz de obter alguma informação a mais que outros. Já no caso da ambiguidade, como todos os estados são possíveis de serem conhecidos, pode ocorrer uma assimetria de informação, com alguns indivíduos possuindo certas informações que outros porventura não possuam (Frisch e Baron, 1988; Camerer e Weber, 1992, apud Dequech, 2000).

## 5 COMO OS INDIVÍDUOS SE COMPORTAM

Na teoria convencional, segundo Marcato e Martinez (2013), o processo da tomada de decisão é caracterizado pelo indivíduo sendo capaz de obter um conjunto de alternativas bem definido e, por meio de uma função matemática, comparar os resultados de sua escolha, optando por aquela que lhe proporcionará a maior utilidade líquida. Dessa abordagem, depreende-se que o indivíduo não só é capaz de obter todas as informações disponíveis, como também é capaz de processar todas essas informações com o intuito de alcançar seus objetivos, tendo uma grande capacidade computacional e cognitiva (chamada de racionalidade substantiva por Simon (1987)).

Podemos perceber que nesse caso, não é considerada a incerteza fundamental. Nesse caso, cada indivíduo teria sua própria distribuição de probabilidade para o conjunto de alternativas, assim como sua própria função de utilidade, variando de acordo com as preferências de cada indivíduo, mas sempre coesa e visando a maximização de sua utilidade (escolha ótima).

No entanto, quando observamos a realidade, considerando nosso ambiente e como nos comportamos, percebemos que esse tipo de racionalidade não é uma interpretação completamente fiel ao nosso processo de tomada de decisão. Podemos intuir que essa interpretação busca modelar como os indivíduos deveriam se comportar. Em contraste a essa abordagem, existem aquelas que buscam primeiro entender como os indivíduos de fato se comportam para depois, a partir desse entendimento, descrever como os indivíduos tomam decisões. Para esta segunda abordagem, veremos o programa de pesquisa da racionalidade limitada, iniciado por Simon, e seus desdobramentos com a economia comportamental de Kahneman e Tversky.

Começando pela racionalidade limitada, que apresenta a ideia de que os indivíduos possuem limitações cognitivas e computacionais, principalmente em ambientes onde há incerteza, em oposição à ideia de racionalidade ilimitada da teoria mainstream, como ressaltam Simon (2000) e Dequech (2001). A racionalidade limitada seria no sentido de que os indivíduos não possuem um poder computacional e cognitivo ilimitados. Além das capacidades do indivíduo, o próprio ambiente onde o mesmo se encontra limitaria suas capacidades, pois não necessariamente um indivíduo teria acesso a todas as alternativas possíveis — inclusive, como vimos, nem sempre todas as alternativas já estão predeterminadas *ex ante*, uma vez que o futuro ainda pode ser criado, incrementando a complexidade do sistema. O ambiente onde o indivíduo se encontra geralmente modifica-se ao longo do tempo, seja por motivos externos ou pelas próprias interações dos indivíduos. Outro ponto seria que as próprias ações dos indivíduos mudam ao longo do tempo, o que adiciona uma camada a mais de complexidade quando o indivíduo for considerar as ações dos outros em seu processo de tomada de decisão. Essas características são suficientes para desconsiderar a ideia de que é possível se ter o conjunto de todas as alternativas e consequências assim como de atribuir-lhes uma probabilidade confiável. Logo,

mesmo se o indivíduo fosse capaz de processar qualquer quantidade de informação, ele não conseguiria obtê-las. Ou, a situação contrária, onde mesmo sendo capaz de obter todas as informações *ex ante*, o indivíduo não seria capaz de processá-las. Seriam raros os casos em que o indivíduo consegue tanto todas as informações possíveis como processá-las, sendo a racionalidade ilimitada um caso de exceção.

No entanto, considerar que os indivíduos possuem racionalidade limitada não implica abandonar a ideia de que os agentes agem racionalmente. Pelo contrário, assumir que o indivíduo é limitado e, a partir disso, considerar seus limites, ajudaria no processo de tomada de decisão, uma vez que aproxima o instrumental de análise do processo decisório da realidade, onde os indivíduos consideram tanto o que sabem quanto o que não sabem. Segundo Jones (1999), para Simon, os limites computacionais e cognitivos dos indivíduos limitam suas capacidades de lidar com sequências de decisões extensas e/ou simultâneas (agravada pela complexidade do sistema), fazendo-os abandonar a ideia de maximização, que buscaria um ótimo ideal e absoluto, pela ideia de satisfação, buscando ótimos momentâneos (locais), que resultam em resultados satisfatórios para seus objetivos, focando em problemas que necessitam de atenção imediata e tomando decisões de forma sequencial. Outra possibilidade que ajuda o indivíduo nesses sistemas são as instituições. Essas, como já vimos, podem diminuir a incerteza do sistema, gerando informações e poupando esforço para algumas tarefas que podem ser internalizadas por meio de regras práticas, permitindo ao indivíduo focar em outros problemas.

Para a abordagem da economia comportamental, seguiremos os passos de Marcato e Martinez (2013), que abordam o funcionamento da mente humana e a Teoria do Prospecto. Esta abordagem tem um grande componente de experimentalismo e empirismo, tendo sido trabalhada através de uma série de experimentos e testes estatísticos, para então formular hipóteses que refletem de maneira mais precisa o comportamento observado, refletindo bem a ideia de uma abordagem que foca em uma descrição mais fiel da realidade.

Kahneman (2012) vai dividir a mente humana em dois sistemas (não-físicos) quando se trata da nossa tomada de decisão. Um sistema seria mais autônomo (o sistema 1), que também reagiria de forma mais rápida e menos custosa para a nossa mente. Nele, haveria diversas associações e habilidades inatas prontas para serem

executadas de maneira instintiva, tendo pouca ponderação voluntária. Neste sentido, podemos resgatar nossas considerações sobre as instituições, considerando que parte dessas operações automáticas podem ter sido originadas da internalização de certas instituições, ou de próprios processos do sistema 2 que foram normalizados. O sistema 1 também seria responsável por fornecer informações para o sistema 2, a partir de percepções e intuições que gera ao ser estimulado pelas interações do indivíduo. Já o sistema 2, seria mais refletido, necessitando de um foco maior para operar, sendo mais custoso, porém, capaz de realizar atividades mentais mais complexas e com um nível de interpretação maior que o sistema 1. Ele também seria capaz de ordenar as operações automáticas do sistema 1, recebendo seus estímulos e trabalhando-os para obter resultados mais complexos. Podemos perceber que, apesar da separação fictícia desses dois sistemas, ambos trabalham juntos no processo decisório.

Kahneman e Tversky (1974 *apud* Marcato e Martinez) vão ainda além na construção de um modelo de como as pessoas de fato tomam decisões. Em alternativa à racionalidade ilimitada, eles vão afirmar que várias decisões que os indivíduos tomam são feitas tentando reduzir problemas complexos em problemas mais simples (de forma consciente ou não). Para estes casos, Kahneman (2012) vai enfatizar o uso de heurísticas para a avaliação de probabilidades, tentando simplificar o problema inicial e facilitando sua tomada de decisão (mesmo que passível de incorrer em erros). Algumas dessas heurísticas são: a) *representatividade*, onde nós focamos na similaridade de um estereótipo com um evento que estamos tentando mensurar, assim, focando nem percepções superficiais em detrimento da estatística do próprio evento; b) *disponibilidade*, quando trocamos a estatística de um evento ocorrer e passamos a estimar a probabilidade de um evento ocorrer pela facilidade com que recordamos desse evento (com um sinal positivo) e; c) *ajuste e ancoragem*, que ocorre quando consideramos um valor particular (arbitrário) para uma estimativa de uma quantidade que desconhecemos, ou seja, ao sermos expostos a esse determinado número arbitrário, este passa a ser uma referência para os ajustes que faremos ao tentar estimar o número inicial desconhecido. Essas heurísticas foram propostas a partir de observações e experimentos reais, divergindo dos processos considerados pela teoria convencional.

Seguindo com abordagens que partem de uma tentativa de descrever o comportamento a partir de observações da realidade, temos a Teoria do Prospecto (TP). Para Kahneman (2012), não só o resultado final de uma escolha importaria, mas sim os ganhos e perdas relativos (o resultado final em relação ao ponto de partida). Também haveria uma consideração decrescente dessas variações: quanto maior a quantidade de um determinado item, por exemplo, maior precisaria ser a variação para se obter o mesmo efeito que o indivíduo sentiria partindo-se de um ponto de referência com uma menor quantidade, mas com a mesma variação de quantidade do item. Outro ponto seria que as perdas exercem um impacto maior que os ganhos, caracterizando-se uma aversão a perda no processo de tomada de decisão dos indivíduos. Mais especificamente, notou-se que os indivíduos são mais propensos ao risco quando se trata de evitar perdas e menos propensos ao risco quando se trata de ganhos, ou seja para uma determinada diferença entre dois ganhos, o indivíduo vai preferir o mais certo, mesmo que seja um valor menor, assim como o mais arriscado quando houver a possibilidade de uma perda menor. Os indivíduos também costumam dar mais peso às opções que são consideradas mais certas.

Tanto a abordagem da racionalidade limitada quanto da economia comportamental é interessante para esse trabalho, pois ambas partem da observação de como os indivíduos se comportam na realidade para, então, tentar generalizar o comportamento das pessoas. Isto torna-se particularmente interessante a partir do momento que temos instrumentos computacionais que nos permitem lidar com a reprodução desses padrões de comportamento, permitindo-nos ver como eles interagem e se desenvolvem no tempo. No mínimo, essas abordagens alternativas nos provocam a pensar em modelos alternativos aos da teoria convencional.

## 6 SISTEMAS COMPLEXOS ADAPTATIVOS

Por fim, trataremos sobre a complexidade, tentando entender, a partir do trabalho da Cardoso (2016), como essas características diversas — incerteza, comportamento não-maximizador e instituições — influenciam as interações de agentes em um sistema no decorrer do tempo, permitindo analisar sua evolução, e não apenas os resultados finais. Devemos notar que, o enfoque nas análises feitas

por meio da perspectiva da complexidade é muito mais no processo do que no resultado, ou, ainda, o poder de explicar a realidade em detrimento do de prevê-la, dando papel de destaque para a dinâmica de como as decisões ocorrem (i.e., o processo decisório), e não visando encontrar um resultado determinado. Neste sentido, é aceito que o sistema pode se desenvolver em diferentes sentidos (sistemas não-lineares), não necessariamente indo em direção a um ponto de equilíbrio. Uma característica dos modelos que consideram a complexidade é que eles têm um caráter empírico destacadamente forte, visando descrever, o quanto melhor possível, as observações feitas acerca da realidade. Nessa linha, Wible (2000) vai apontar que a teoria da complexidade ao invés de perseguir um modelo analítico formal, vai procurar padrões a partir de processos não lineares repetidos.

Helbing e Kirman (2013) vão trazer algumas características acerca de sistemas adaptativos complexos. Em contraponto com o equilíbrio geral, eles caracterizam sistemas complexos como podendo ter múltiplos equilíbrios (que podem ser instáveis) e, mesmo assim, podendo passar longos períodos sem estar em equilíbrio. Também não seria possível otimizar um sistema complexo em tempo real, mesmo considerando um grande poder computacional. Para Helbing e Kirman (2013), o sistema seria constantemente alimentado por feedbacks e efeitos colaterais, pode também apresentar efeitos cascata, afetando todos os níveis do sistema e eventos extremos. Do mesmo modo ressaltam a dificuldade de se prever seu comportamento e suas características probabilísticas.

Helbing e Kirman (2013) também vão colocar que os sistemas complexos frequentemente vão apresentar comportamentos contraintuitivos, além de uma grande dificuldade de se controlar o sistema de forma centralizada ou de cima para baixo. Expõem também que essas relações de interdependência trazem dificuldades para os agentes se comportarem da maneira como gostariam ou como deveriam, onde cada agente não é independente ao agir, sendo sempre afetado por alguma interação de algum ou alguns outros agentes. Por fim, Kirman (2004) e Helbing e Kirman (2013) destacam a emergência de padrões de comportamento (e/ou propriedades) agregados que emergem das interações entre os agentes que compõem o sistema (diferenciando-se do comportamento individual de cada agente) e a auto-organização no nível mais macro.

Gallegati e Kirman (2012) vão destacar algumas características principais que definem um sistema complexo adaptativo: uma delas são os padrões emergentes das interações entre os componentes do sistema, onde esses padrões não podem ser derivados simplesmente observando o comportamento individual de um agente, sendo que os próprios agentes também vão ter que interagir com esses padrões agregados. Neste sentido, como vimos, o resultado agregado seria maior (assim como diferente) que a soma dos micros, isto porque os componentes de interações são não-lineares, ou seja, as causas e efeitos não são proporcionais entre si, sendo os padrões que emergem em um nível mais macro maior que a soma das partes micro, como afirmam Helbing e Kirman (2013).

Outra característica fundamental presente nesses tipos de sistemas é a auto-organização que surge em níveis agregados. Gallegati e Kirman (2012) vão enfatizar que por mais que o comportamento dos agentes individuais seja caótico, é a partir da agregação de seus comportamentos que será gerada regularidade. Outra característica de destaque usada para definir sistemas complexos adaptativos é a capacidade de aprender dos agentes individuais. Gallegati e Kirman (2012) colocam que os agentes podem adaptar-se e mudar suas regras de comportamento, tanto por motivos de aprender com os outros agentes como por mudanças no próprio sistema de uma forma geral. Isto indicaria que tanto o micro afeta o macro, como o macro afeta o micros.

Outros autores que destacam as características de um sistema complexo são Klir e Simon (1991). Eles também vão apontar que o todo seria maior que a soma das partes, pois não seria simples inferir as características do todo a partir das propriedades e regras de comportamento dos agentes. Klir e Simon (1991) também vão identificar um papel importante da hierarquia em sistemas complexos. Por hierarquia os autores referem-se a um sistema formado por subsistemas, até chegar ao nível individual, onde todos, em algum nível, interagem entre si.

Quando tratamos do comportamento de um agente em sistemas complexos, geralmente estamos considerando agentes com características diversas, em oposição aos agentes representativos das teorias convencionais. Isto porque, como os agentes estão expostos à incerteza e, como vimos, possuem suas limitações, esses não vão agir necessariamente conforme a ideia de maximização. Na verdade, eles buscariam

soluções satisfatórias e pontuais (ou maximização local), resolvendo seus problemas de forma sequencial, culminando na possibilidade de várias soluções (ou ações) para o mesmo problema. Isto, aliado às próprias características intrínsecas de cada agente, aumenta ainda mais o nível de complexidade do sistema, pois cada um vai perceber, interpretar e agir de forma distinta. No mesmo sentido, Arthur (2018) ressalta que os agentes vão ter que, não só resolver possíveis problemas, mas teriam que interpretá-los, dá-los algum sentido, dificultando a existência de um processo de tomada de decisão ideal.

Podemos, seguindo essa linha, adicionar mais um grau de complexidade como sugere Dequech (2001), pois cada indivíduo também tentará estimar como o outro provavelmente irá agir, criando diferentes tipos de percepções, relações e interações entre os diferentes tipos de agentes e, também, modificando suas ações conforme sua expectativa de como os outros agentes agirão. Além do mais, o comportamento criativo e disruptivo também deve ser considerado, podendo alterar completamente o ambiente em que os agentes estão inseridos (de forma consciente ou não). Também devemos considerar que as características desses agentes não são imutáveis no tempo. Os agentes podem aprender e se adaptar, também modificando o sistema e suas interações. Outra fonte de interação é o próprio ambiente em que o agente está inserido, também podendo modificá-lo (de forma proposital ou não). Essas interações entre os agentes e o ambiente seriam uma fonte constante de mudança, podendo fazer o sistema não necessariamente caminhar para um equilíbrio final.

Arthur (2018) vai apontar seis características da economia que favorecem a abordagem da complexidade para se conceber a economia: *interação dispersada, ausência de um controlador global, organizações hierárquicas transversais, adaptação contínua, novidade perpétua e uma dinâmica de desequilíbrio*.

A *interação dispersada* seria, para Arthur (2018), a interação de diversos agentes (com características diferentes) de forma paralela, onde tanto a expectativa que um agente tem sobre a ação do outro quanto o próprio estado do ambiente em que estão inseridos vai influenciar nas suas interações. A *ausência de um controlador global* significa que não existe nenhuma entidade que controle as ações dos agentes, no entanto, existiriam instituições que intermediariam essas interações, assim como poderiam resultar em alguma coordenação. Com *organização hierárquica transversal*,

Arthur (2018) quer dizer que em um sistema complexo haveria diversos níveis de agregação, onde em cada nível haveria um conjunto de agentes e interações, sendo que entre os diversos níveis de agregação também pode ocorrer interações, inclusive dando origem a novos níveis de agregação e de interações entre agentes. Já a *adaptação contínua* refere-se ao aprendizado que um agente pode ter, modificando suas características e ações. Por *novidade perpétua*, Arthur (2018) aponta que haverá sempre a criação de novos nichos por meio de novos comportamentos, inovações tecnológicas ou outros eventos causados pelos próprios agentes que compõem o sistema. E, por fim, a *dinâmica de desequilíbrio* é devido a novidade perpétua, pois com a introdução constante das novas possibilidades criadas, o sistema não caminharia necessariamente para um equilíbrio.

No entanto, não só de caos e imprevisibilidade se compõe um sistema complexo. Mesmo sobre incerteza e comportamento diverso, alguns padrões, como normas, organizações ou qualquer instituição de forma geral podem emergir. Pode-se considerar que, justamente em ambientes complexos que as instituições fazem mais diferença, pois seriam capazes de diminuir a incerteza e trazer alguma estabilidade ou um certo grau de previsibilidade. Vale ressaltar que essas instituições seriam endógenas ao sistema, sendo destruídas, criadas ou modificadas internamente com o decorrer do tempo, fazendo com que, por mais que estejam permeadas no sistema, dificilmente durem para sempre ou que levem ao equilíbrio, sendo mais como ferramentas atenuantes. Mas, ainda assim, essas instituições teriam, em algum grau, um caráter de coordenação das interações que ocorrem no sistema, sendo sua observação de suma importância para se obter insights acerca de um sistema estudado.

Modelos que usam a perspectiva da complexidade, então, seriam compostos por um grande número de agentes (com diversidade entre si) e com um grande número de interações, como afirma Foley (2003, *apud* Cardoso, 2016). Essas características criam várias dificuldades ao tentar operacionalizar essa abordagem. Por muito tempo, a dificuldade em se conseguir instrumentos para operacionalizar essa abordagem (além dos desafios teóricos) impediu em grande parte os avanços da área. Porém, com o aumento do poder computacional, tornou-se possível lidar com uma grande quantidade de informações e de processamento dessas informações,

permitindo o uso de métodos de simulações para tentar recriar sistemas complexos, onde uma grande quantidade de diferentes agentes com diferentes interações evoluem no tempo, permitindo a tentativa de se tentar verificar propriedades e mecanismos de interação que caracterizariam esse sistema, abrindo espaço para a interpretação e inferências dos resultados das simulações. A ideia de usar simulações seria de que algumas condições iniciais seriam definidas (afinal, deve-se ter um ponto de partida), de preferência condições que refletem a realidade (ou tentam refleti-la de uma maneira razoavelmente adequada) e algumas regras de comportamento (assim como as condições, também buscam refletir a realidade) e, a partir disso, seriam feitas várias rodadas de simulações, como indicam Melo e Fucidji (2016). Porém, diferentemente da abordagem convencional, o foco seria uma melhor capacidade de se explicar o sistema (e seus componentes) que está sendo estudado, ao invés de se tentar fazer previsões. No entanto, não necessariamente o método que se utiliza de simulações limita-se a análises descritivas, dependendo do sistema em questão e do domínio da teoria e dos instrumentos utilizados para operacionalizar a abordagem (teóricos e/ou técnicos), pode-se também buscar fazer previsões, como técnicas de inteligência artificial que buscam prever comportamentos específicos (de compras, por exemplo).

## 7 ABORDAGENS BASEADAS EM COMPUTAÇÃO E SIMULAÇÕES

Melo e Fucidji (2016) separam as técnicas de simulação em dois tipos de abordagem: a) aquelas que tentam ser a mais fiéis possíveis à realidade, tentando replicar todas as suas características; mais comuns para estudar sistemas relacionados à engenharia e ciências naturais, costumeiramente tendo foco em fazer previsões; b) aquelas que focam em estudar os componentes do sistema e seu comportamento. Como já vimos, ao considerarmos que tanto os agentes como as regras que coordenam o seu comportamento podem mudar ao longo do tempo — característica comum nos objetos estudados pelas ciências sociais —, cria-se um impedimento para a tentativa de se fazer previsões pois, para isso, essas regras teriam que ser estáticas.

Um desses tipos de modelos usados nas ciências sociais é o “history-friendly”. Melo e Fucidji (2016) apontam que esse tipo de modelo parte da observação das causas dos eventos estudados, ou seja, seriam modelos condizentes com o que já aconteceu (com o passado), ou historicamente respaldados. A partir desse conhecimento são definidas as condições iniciais e os parâmetros do modelo, que definirão os processos que ocorrem na simulação. Porém, além da fundamentação empírica na construção desses modelos, também deve-se prestar atenção a sua fundamentação teórica, utilizando-se de ambas as dimensões para se formular os pressupostos a serem utilizados no modelo, deixando-os com um caráter realista e coerente. Mesmo com os mesmos parâmetros e condições iniciais, ao se rodar diferentes simulações, pode-se obter diferentes resultados (estados finais das simulações). Porém, a obtenção desses resultados distintos não invalida o modelo, pelo contrário. A partir dessa diversidade, torna-se possível observar os processos comuns a esse conjunto de resultados, podendo-se então fazer inferências. Com isto, pode-se tanto manter o conjunto inicial de condições e parâmetros adicionando eventos estocásticos para examinar a trajetória em um conjunto de simulações, como fazer testes do tipo altera-se uma condição com todas as demais constantes, permitindo a obtenção de informação sobre como um conjunto de variáveis interagem e/ou alteram o sistema. Como podemos perceber, esse método não nos proporciona uma solução (mas um conjunto de resultados possíveis), mas sim a possibilidade de se abstrair propriedades do sistema.

Brenner e Werker (2007, p. 235 *apud* Melo e Fucidji, 2016, p. 640) destacam outro tipo de modelo: o bayesiano. O modelo bayesiano vai ser útil quando há uma quantidade consideravelmente grande de observações do objeto estudado (um fenômeno ou evento), mas não há uma especificação suficientemente adequada dos parâmetros e das interações dos objetos estudados (o que gera o fenômeno). Esse tipo de modelo, torna-se então, adequado para a utilização de métodos estatísticos para a extração de dados dessas observações, obtendo-se algumas características acerca desse objeto de estudo.

Um problema que surge ao trabalhar com esses tipos de modelo é o do nível de detalhamento do modelo. Este problema assemelha-se ao de fazer um mapa com escala 1:1. Quanto maior a quantidade de detalhamento de um modelo, tentando

recriar ao máximo o sistema que está sendo estudado, maior a chance de se negligenciar propriedades potencialmente importantes em meio a tantas outras. Ou, pelo outro lado, fazendo muitas abstrações e simplificações, reduzindo o modelo às características mais essenciais, perdendo o poder descritivo da realidade, porém, tornando a manipulação e análise do modelo mais simples.

Melo e Fucidji (2016) apontam que um outro tipo de abordagem é aquele que foca no agente: as agent-based modelling (ABM) – ou modelos baseados em agentes –, que permitem lidar com uma enorme quantidade de informações sobre o comportamento e interações de vários agentes. Nesta abordagem, enfatiza Dweck (2006), o foco está nas regras de comportamento do agente que, inclusive, podem ser compostas por outros agentes em uma determinada estrutura hierárquica. Neste contexto, os agentes seriam qualquer coisa que fizesse parte do sistema. Os agentes agiriam de forma autônoma e não-coordenada, refletindo suas características intrínsecas, mas também interagindo com outros agentes e o ambiente em que está inserido. Nestes tipos de modelo, as interações dos agentes geram algumas propriedades, padrões e auto-organização no nível macro do sistema, ou seja, das ações e interações individuais (que são espontâneas e não-coordenadas), emergem características, padrões e interações coletivas. Porém, esta não é uma causalidade de via única, os agentes também podem ser afetados pelas características do nível macro, gerando uma via de mão dupla de influências e, inclusive, com diferentes níveis de agregação. Apesar das ações individuais gerarem as características macro, não quer dizer que o que ocorre no nível macro é o mesmo que ocorre no nível micro, essas ações que ocorrem no nível micro podem resultar em características notadamente diferentes no nível macro, ou seja, o comportamento coletivo não necessariamente é o mesmo que o comportamento dos agentes. Este tipo de abordagem torna-se muito útil quando se quer estudar sistemas em que há diferentes níveis de agregação.

Dweck (2006, p. 85) vai pontuar diversas características da abordagem baseada em agentes. Nesta abordagem, como já vimos, as características no nível macro são derivadas do nível micro. O sistema não permanece estático, ele evolui ao longo do tempo, tanto pelas interações no nível dos agentes quanto de suas consequências no nível macro e sua retroalimentação para o nível micro. Os agentes

podem ser completamente distintos uns dos outros, assim como possuem racionalidade limitada ou, pelo menos, não se comportam como se fossem indivíduos maximizadores. Ele é verdadeiramente dinâmico no sentido de que o tempo corre apenas para frente, com o sistema evoluindo junto com os agentes, que aprendem e se adaptam ao ambiente e aos outros agentes. Também é completamente dinâmico no sentido de que, a partir das condições iniciais e definição de regras, conforme a simulação ocorre, o sistema é capaz de evoluir apenas com as interações dos agentes que a ele pertencem. Importante ressaltar que quando falamos de evolução ao longo do tempo, não falamos de um tempo contínuo, mas sim um tempo discreto, como se fosse um jogo de rodadas, onde os agentes agiriam a cada turno. Esses sistemas vão ser compostos por agentes que possuem um conjunto de ações, parâmetros e regras de decisão definidos na largada, que em uma estrutura de interação irão agir e gerar parâmetros e outras variáveis macro.

Assim como as outras abordagens no campo das simulações, os modelos baseados em agentes não focam em resultados de um ou mais equilíbrio. Seu foco é tentar entender os processos que ocorrem durante a evolução do sistema. Fazendo simulações alterando diferentes características e mantendo outras para criar diferentes resultados que possam ser comparáveis. Ou seja, esses modelos permitem fazer testes de ciências sociais em um sistema controlado e replicável. Mesmo não sendo completamente fiel ou super descriptivo como os usados nas ciências naturais e engenharia, pode ser útil para testar cenários que sejam bem representados (considerando os limites do método e do modelador) e estudar causas e consequências de determinados fenômenos, regras ou parâmetros em sistemas que tenham determinadas características (especificadas pelo modelador).

Porém, há um conjunto de críticas a essas abordagens, ainda mais ao considerar que são propostas recentes, que ainda tem um longo caminho a ser trilhado, inclusive absorvendo as críticas e evoluindo a abordagem. Uma delas, como constata Dweck (2006), é a crítica de que as abordagens por meio de modelos de simulação possuem uma grande liberdade, podendo-se incorrer um menor rigor tanto na formulação do modelo como na interpretação de seus resultados e, inclusive, podendo-se obter qualquer resultado. Como resposta, Melo e Fucidji (2016) irão colocar justamente essa liberdade para se formular um modelo que torna a

abordagem por ABM interessante, pois permitiria criar modelos semelhantes (mais que as alternativas) à realidade. Já Fagiolo, Windrum e Moneta (2006) destacam quatro problemas na abordagem de modelos baseados em agentes. A primeira seria a grande variedade de modelos sem necessariamente relações entre eles. Segue-se então o segundo problema: a falta de capacidade de fazer comparações entre os modelos. Isto serve tanto para modelos que visam estudar fenômenos diferentes como modelos diferentes que visam estudar o mesmo fenômeno (ou os dois casos juntos). Já o terceiro problema que Fagiolo, Windrum e Moneta (2006) aponta é a ausência de um padrão analítico e de técnicas para se construir um ABM. Por fim, os autores colocam que a própria validação empírica pode ser um problema. Questionam se existiria a possibilidade de utilização de outros mecanismos que não a reprodução de fatos estilizados. Além disso, o próprio processo de escolha dos fatos estilizados pode ser questionado, como quais fatos são relevantes e por qual motivo, assim como a qualidade dos fatos escolhidos e dos dados que os representam.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos concluir então que há abordagens alternativas à teoria convencional para tentar modelar sistemas econômicos. Porém, não podemos considerar que as abordagens baseadas em simulação são substitutas à abordagem mainstream. Como vimos, elas estão em estágios completamente diferentes, onde as abordagens baseadas em simulação ainda encontram obstáculos e lacunas para preencher, enquanto a teoria convencional já está bem consolidada e difundida.

Um segundo aspecto que faz com que elas não sejam substitutas direta (nesse momento, pelo menos) é o seu foco. Como observamos, o foco das abordagens por simulação está na descrição das interações e em como o sistema que está sendo analisado evolui, extraíndo considerações dos resultados dessas simulações. Já a teoria convencional foca no resultado que seu modelo alcança, visando poder fazer previsões ao invés de verificar se os eventos em seu modelo são representativos da realidade.

Outro objetivo alcançado com esse trabalho foi o de introduzir interpretações alternativas acerca da nossa realidade. Quando tentamos modelar a realidade de

forma descritiva, observando o comportamento dos indivíduos e, a partir das observações, entendermos melhor como os indivíduos funcionam, podemos fazer generalizações que refletem com melhor êxito o comportamento observado, em alternativa às abstrações que as teorias convencionais fazem para que seja possível encontrar soluções para seus modelos.

Isso faz com que o campo dos modelos baseados em agentes pareça promissor apesar dos seus problemas de rigor e padronização. Um exemplo do que esse campo pode ser capaz de fazer são as técnicas de inteligência artificial que conseguem fazer boas previsões e fornecer bons insights sobre os objetos em que são aplicadas, como os algoritmos de recomendações, por exemplo. Mas para que isso ocorra é preciso que esses sejam temas mais difundidos, aumentando o número de possíveis aplicações para esses modelos, bem como descobrindo soluções para os problemas existentes e encontrando novas barreiras, permitindo então com que o campo se desenvolva.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTHUR, W. Brian. **The economy as an evolving complex system II**. CRC Press, 2018.
- BANKES, Steven C. Agent-based modeling: A revolution?. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. suppl\_3, p. 7199-7200, 2002.
- BRENNER, Thomas; WERKER, Claudia. A taxonomy of inference in simulation models. **Computational Economics**, v. 30, p. 227-244, 2007.
- CAMERER, Colin; WEBER, Martin. Recent developments in modeling preferences: Uncertainty and ambiguity. **Journal of risk and uncertainty**, v. 5, p. 325-370, 1992.
- CARDOSO, Fernanda Graziella. Integração analítica da micro e da macroeconomia: algumas reflexões teórico-metodológicas. **Economia e Sociedade**, v. 25, p. 631-660, 2016.
- CHANG, Ha-Joon. Breaking the mould: an institutionalist political economy alternative to the neo-liberal theory of the market and the state. **Cambridge Journal of Economics**, v. 26, n. 5, p. 539-559, 2002.
- COASE, Ronald. The new institutional economics. **The American economic review**, v. 88, n. 2, p. 72-74, 1998.

- DE AZEVEDO, Paulo Furquim et al. Nova economia institucional: referencial geral e aplicações para a agricultura. **Instituto de Economia Agrícola**, 2000.
- DEQUECH, David. Bounded rationality, institutions, and uncertainty. **Journal of economic issues**, v. 35, n. 4, p. 911-929, 2001.
- DEQUECH, David. Cognitive and cultural embeddedness: combining institutional economics and economic sociology. **Journal of Economic Issues**, v. 37, n. 2, p. 461-470, 2003.
- DEQUECH, David. Conventional and unconventional behavior under uncertainty. **Journal of Post Keynesian Economics**, v. 26, n. 1, p. 145-168, 2003.
- DEQUECH, David. Economic institutions: explanations for conformity and room for deviation. **Journal of Institutional Economics**, v. 9, n. 1, p. 81-108, 2013.
- DEQUECH, David. Fundamental uncertainty and ambiguity. **Eastern economic journal**, v. 26, n. 1, p. 41-60, 2000.
- DEQUECH, David. Instituições e a relação entre economia e sociologia. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 41, p. 599-619, 2011.
- DEQUECH, David. Institutions and economic behaviour under uncertainty. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 29, n. 4, p. 551-573, 1999.
- DEQUECH, David. Institutions and norms in institutional economics and sociology. **Journal of Economic Issues**, v. 40, n. 2, p. 473-481, 2006.
- DEQUECH, David. Institutions in the economy and some institutions of mainstream economics: From the late 1970s to the 2008 financial and economic crisis. **Journal of Post Keynesian Economics**, v. 41, n. 3, p. 478-506, 2018.
- DEQUECH, David. Institutions, social norms, and decision-theoretic norms. **Journal of economic behavior & organization**, v. 72, n. 1, p. 70-78, 2009.
- DEQUECH, David. Neoclassical, mainstream, orthodox, and heterodox economics. **Journal of Post Keynesian Economics**, v. 30, n. 2, p. 279-302, 2007.
- DEQUECH, David. The demarcation between the "old" and the "new" institutional economics: recent complications. **Journal of Economic Issues**, v. 36, n. 2, p. 565-572, 2002.
- DEQUECH, David. The institutions of economics: A first approximation. **Journal of Economic Issues**, v. 48, n. 2, p. 523-532, 2014.

- DEQUECH, David. The new institutional economics and the theory of behaviour under uncertainty. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 59, n. 1, p. 109-131, 2006.
- DEQUECH, David. Uncertainty: a typology and refinements of existing concepts. **Journal of economic issues**, v. 45, n. 3, p. 621-640, 2011.
- DOSI, Giovanni; EGIDI, Massimo. Substantive and procedural uncertainty: an exploration of economic behaviours in changing environments. **Journal of evolutionary economics**, v. 1, p. 145-168, 1991.
- DWECK, Esther. **Uma análise da interação micro-macro com base em um modelo dinâmico multisectorial de simulação**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- FAGIOLO, Giorgio; WINDRUM, Paul; MONETA, Alessio. **Empirical validation of agent-based models: A critical survey**. LEM Working Paper Series, 2006.
- FOLEY, Duncan K. **Unholy trinity: labor, capital and land in the new economy**. Routledge, 2003.
- FRISCH, Deborah; BARON, Jonathan. Ambiguity and rationality. **Journal of Behavioral Decision Making**, v. 1, n. 3, p. 149-157, 1988.
- GALLEGATI, Mauro; KIRMAN, Alan. Reconstructing economics: Agent based models and complexity. **Complexity Economics**, v. 1, n. 1, p. 5-31, 2012.
- HELBING, Dirk; KIRMAN, Alan. Rethinking economics using complexity theory. **Real-world economics review, issue**, n. 64, 2013.
- HODGSON, Geoffrey M. What are institutions?. **Journal of economic issues**, v. 40, n. 1, p. 1-25, 2006.
- HODGSON, Geoffrey M. Reclaiming habit for institutional economics. **Journal of economic psychology**, v. 25, n. 5, p. 651-660, 2004.
- HODGSON, Geoffrey M. The ubiquity of habits and rules. **Cambridge journal of economics**, v. 21, n. 6, p. 663-684, 1997.
- JONES, Bryan D. Bounded rationality. **Annual review of political science**, v. 2, n. 1, p. 297-321, 1999.
- JONKER, Catholijn M.; RIEMSDIJK, M.; VERMEULEN, Bas. Shared mental models. In: **International Workshop on Coordination, Organizations, Institutions, and Norms in Agent Systems**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 132-151, 2010.

- KAHNEMAN, D; TVERSKY, A. Judgment under uncertainty: heuristics and biases. **Nova York: Cambridge University Press**, 1974.
- KAHNEMAN, Daniel. **Rápido e devagar: duas formas de pensar**. Objetiva, 2012.
- KIRMAN, Alan. Economics and complexity. **Advances in Complex Systems**, v. 7, n. 02, p. 139-155, 2004.
- KLEIN, Peter G. New institutional economics. **Available at SSRN 115811**, 1998.
- KLIR, George J.; SIMON, Herbert A. **The architecture of complexity**. Springer US, 1991.
- KNIGHT, F. Risk, uncertainty and profit. **Reprints of Economics Classics: Nova Iorque**, p. 197-233, 1964.
- MACAL, Charles M.; NORTH, Michael J. Agent-based modeling and simulation. In: **Proceedings of the 2009 winter simulation conference (WSC)**. IEEE, 2009. p. 86-98.
- MARCATO, Marília Bassetti. Tipos de influência das instituições sobre o comportamento e o pensamento econômico. 2013. Notas de aula. Não paginado.
- MARCATO, Marília Bassetti; MARTINEZ, Felipe Pasini P. A tomada de decisão do agente econômico: uma breve discussão sobre incerteza e a Teoria do Prospecto. **Revista Economia Ensaios**, v. 28, n. 1, p. 47-66, 2013.
- MELO, TATIANA; FUCIDJI, José Ricardo. Racionalidade limitada e a tomada de decisão em sistemas complexos. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 36, p. 622-645, 2016.
- NORTH, Douglass C. et al. The new institutional economics and development. **Economic History**, v. 9309002, p. 1-8, 1993.
- NORTH, Douglass C. Institutions. **Journal of economic perspectives**, v. 5, n. 1, p. 97-112, 1991.
- NORTH, DOUGLASS & Denzau, Arthur. (1994). Shared Mental Models: Ideologies and Institutions. *Kyklos*. 47. 3-31. 10.1111/j.1467-6435.1994.tb02246.x.
- PEÑALOZA, Rodrigo. Os fundamentos da microeconomia: homo cartesianus ou homo oeconomicus?, 2018.
- PONDÉ, João Luiz. Nova economia institucional. **Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas**, 2007.

- POSSAS, Mario Luiz. Elementos para uma integração micro-macrodinâmica na teoria do desenvolvimento econômico. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 1, n. 1, p. 123-150, 2002.
- SELTEN, Reinhard. Bounded rationality. **Journal of Institutional and Theoretical Economics (JITE)/Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft**, v. 146, n. 4, p. 649-658, 1990.
- SILVA, Adilson Aderito da; BRITO, Eliane Pereira Zamith. Incerteza, racionalidade limitada e comportamento oportunista: um estudo na indústria brasileira. **RAM. Revista de Administração Mackenzie**, v. 14, p. 176-201, 2013.
- SIMON, Herbert A. Bounded rationality in social science: Today and tomorrow. **Mind & Society**, v. 1, p. 25-39, 2000.
- STEINGRABER, Ronivaldo; FERNANDEZ, Ramon Garcia. A racionalidade limitada de Herbert Simon na Microeconomia. **Revista da Sociedade Brasileira de Economia Política**, 2013.
- VON HAYEK, Friedrich A. The Theory of Complex Phenomena: A Precocious Play on the Epistemology of Complexity. 2010.
- WIBLE, James. What is complexity?. In: **Complexity and the history of economic thought**. Routledge, 2000. p. 27-42.