

Economia da complexidade

Aula 5 – 1ª Parte

Agenda

- Sistemas simples, complexos e caóticos
- Complexidade e regularidades empíricas
- Economia como um sistema evolutivo complexo
- Complexidade, inovação e dinâmica tecnológica

Por que uma teoria da complexidade?

- Compreender comportamentos “**mal explicados**” observados na natureza
 - Tendência de sistemas com muitos componentes de evoluírem para **estados “críticos”**, a partir dos quais pequenas perturbações podem provocar eventos do tipo “avalanche”
 - Em geral, a mudança/evolução desses sistemas se dá a partir de **eventos avalanche** e não de forma gradual
 - A evolução para estados críticos ocorre de modo não planejado mas decorre unicamente da **interação** entre os elementos do sistema (auto-organização)

Qual é o problema?

- A perspectiva da ciência é frequentemente reducionista: entender o mundo em termos das propriedades dos “***building blocks***”
 - Conforme o mundo possa ser reduzido às leis fundamentais e às partículas elementares sejam conhecidas, o trabalho da ciência está feito
- Exemplos:
 - **Cristais:** trilhões de átomos perfeitamente organizados em uma estrutura regular
 - **Gases:** muitos átomos e moléculas que raramente interagem (choques) em um sistema desorganizado

Porque não funciona sempre?

- A maioria dos sistemas de **interesse** não é nem perfeitamente organizado nem completamente caótico
- A **variabilidade** é a regra da maioria dos sistemas que interessa, em qualquer nível de análise
- Apesar das grandes diferenças entre sistemas, existem **regularidades estatísticas** que precisam ser explicadas

Sistemas complexos

- **Não** é simples definir sistemas complexos !
 - “Complexidade é um fenômeno tipo ‘caixas chinesas’: em cada caixa encontramos surpresas novas” (Bak, 1996)
- **Ingrediente** básico: diversidade/heterogeneidade
- Fenômeno multinível: **nenhum** nível é, à princípio, preponderante para análise/explicação
 - Partículas -> átomos -> moléculas -> células -> tecidos -> órgãos -> indivíduo -> grupo -> sociedade -> ...

Sistemas simples

- **Não** apresentam as características dos sistemas complexos
- Podem ter **muitos** componentes, interagindo ou não
- Tendem a um ou mais estados de **equilíbrio** estável ou alguma forma de estado **estacionário**
- Após um sistema simples em equilíbrio ser “perturbado”, ele tende a **retornar** a um estado de equilíbrio estável (o mesmo ou outro)
 - Contingências tendem a ser **irrelevantes**

Complexo vs. caótico

- Sistema caóticos apresentam comportamento **completamente** imprevisível, mesmo do ponto de vista probabilístico, ainda que as condições iniciais sejam perfeitamente conhecidas
- Em casos especiais, um mesmo sistema pode apresentar **mais de um** comportamento (simples, complexo ou caótico)
 - Nesses sistemas, o “estágio” complexo se encontra na **fronteira** entre os estágios simples e complexo
- A **teoria do caos** não explica a complexidade

Fenômenos emergentes

- Quando não conseguimos prever diretamente como um fenômeno complexo, em um dado nível, é originado a partir dos mecanismos operando nos níveis inferiores, denominamos esse fenômeno como **emergente**
- Fenômenos emergentes parecem surgir do “nada” mas, **obrigatoriamente**, cada nível é originado a partir dos inferiores
 - Não há macro **sem** micro, por questões puramente físicas, por mais irrelevante que o nível inferior possa parecer
 - *Ex-post*, a emergência pode **sempre**, em princípio, ser explicada a partir dos níveis inferiores

Ciência e complexidade

- A complexidade torna a abordagem científica reducionista – focada na provisão de previsões determinísticas – **impossível** em vastas áreas de interesse da ciência
- Por outro lado, limitar-se apenas à narrativa (“*storytelling*”) é **insuficiente**
- Fenômenos complexos são imprevisíveis, em termos determinísticos, mas **não inexplicáveis**, em uma perspectiva probabilística

Exemplo: lei de Gutenberg- Richter

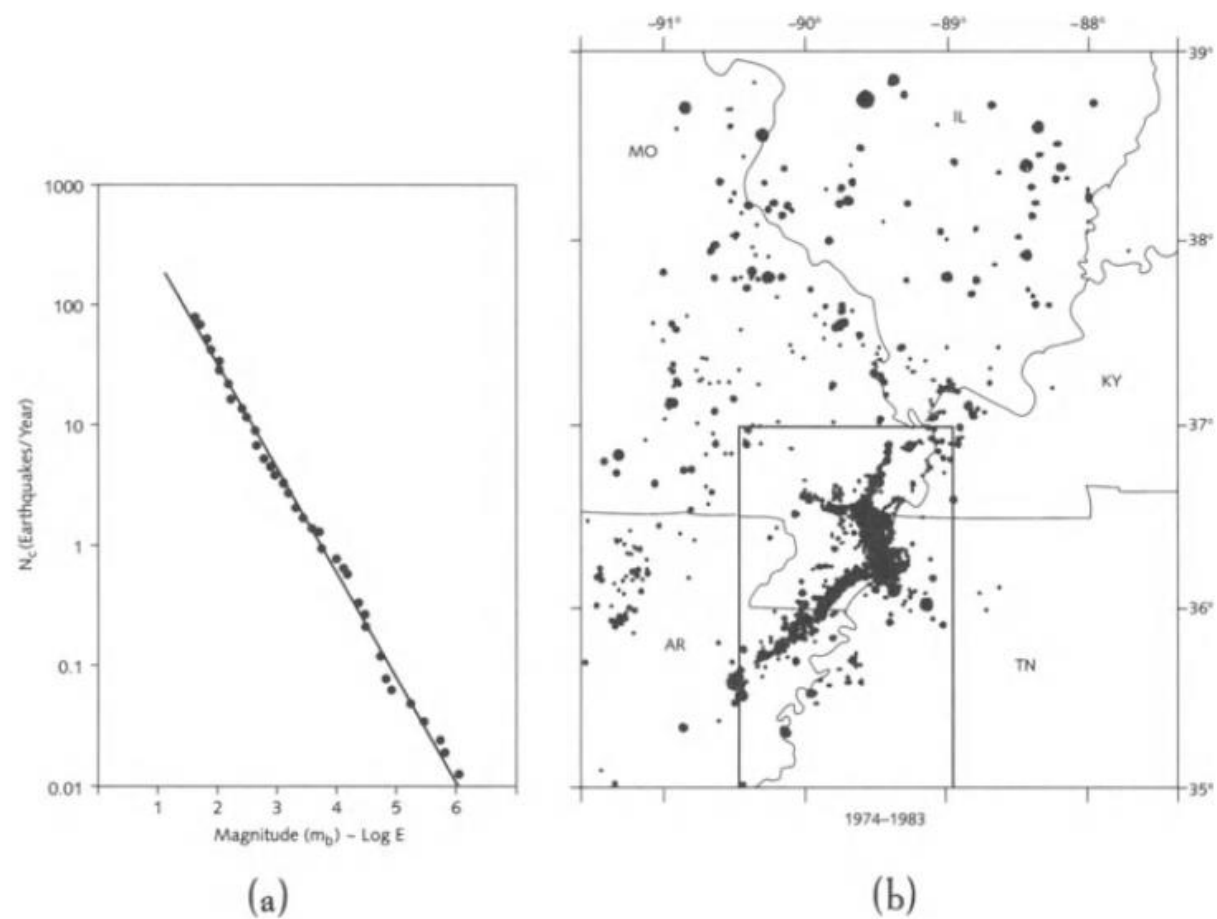
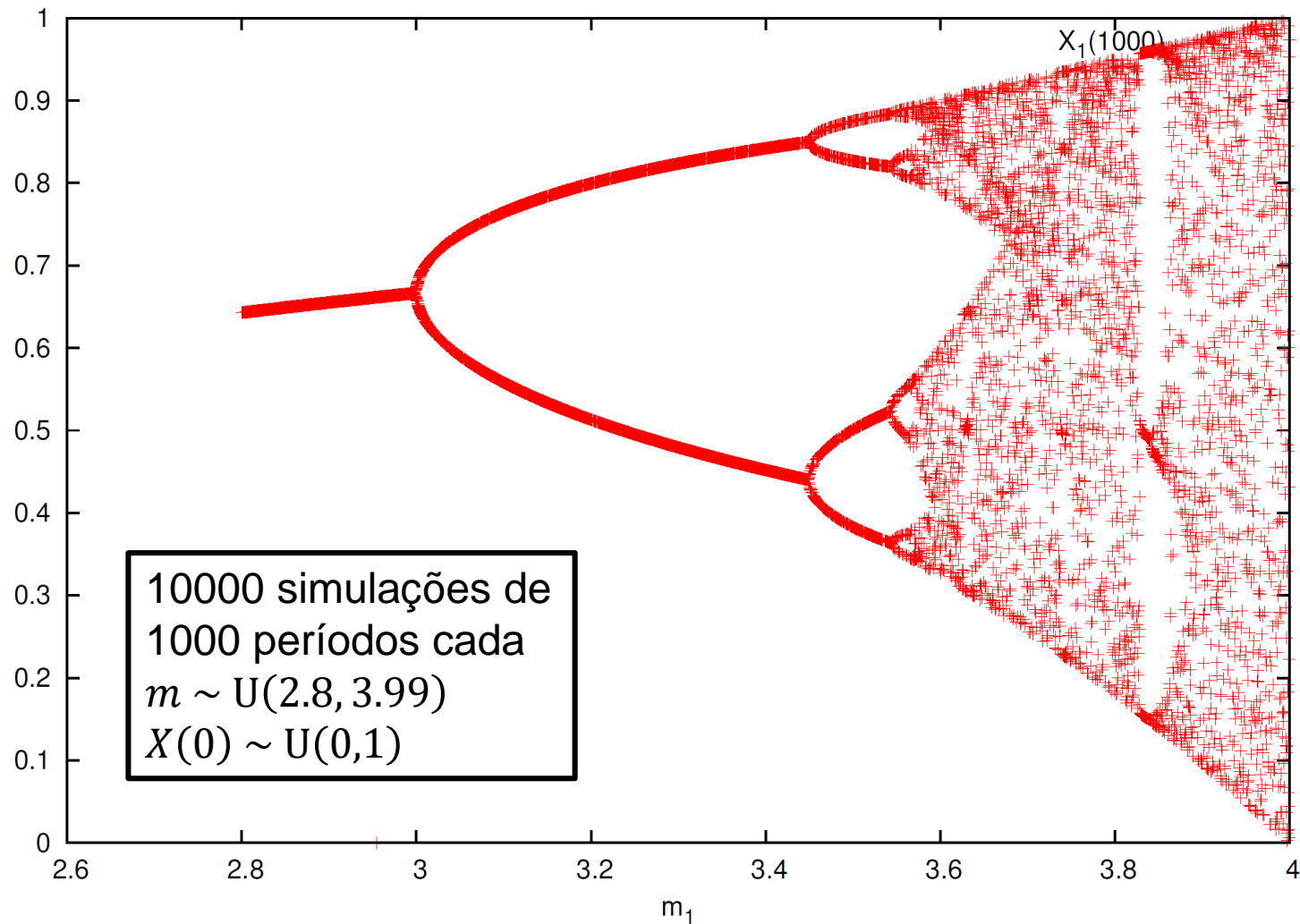


Figure 2. (a) Distribution of earthquake magnitudes in the New Madrid zone in the southeastern United States during the period 1974–1983, collected by Arch Johnston and Susan Nava of Memphis State University. The points show the number of earthquakes with magnitude larger than a given magnitude m . The straight line indicates a power law distribution of earthquakes. This simple law is known as the Gutenberg–Richter law. (b) Locations of the earthquakes used in the plot. The size of the dots represent the magnitudes of the earthquakes.

Fases do modelo logístico



Atributos dos sistemas complexos

Sistemas complexos como a economia são compostos de componentes **heterogêneos** que **interagem**, localizados dentro de uma **rede de conexões** e que exibem **propriedades emergentes**

1. A heterogeneidade dos agentes no nível micro é **essencial**, ao menos no nível informacional
2. Interações não lineares, *feedbacks* e divergência
3. Dimensão macro é **propriedade emergente** do sistema, distinta das propriedades dos agentes
4. Interações dos agentes são organizadas em estruturas de rede, tipicamente **locais**

1. Heterogeneidade

- Os agentes são distintos em múltiplas **dimensões**
 - Informação/conhecimento
 - Hábitos/rotinas
 - Capacidades/desempenhos
- Microvariedade **endógena**
 - Agente com capacidade de **inovar** (“criatividade”)
 - Capacidade de **aprender** a partir do ambiente por meio de interações dentro de sua rede de conexões
- Dinâmica **perpétua**
 - **Seleção** reduzindo variedade
 - **Aprendizado** criando diversidade

2. Não linearidade

- Inovações dispararam mudanças “**em cascata**”
 - Reações “em cadeia”:
inovação \leftrightarrow aprendizado \leftrightarrow adaptação \leftrightarrow inovação
 - Feedbacks positivos e **não ergodicidade**
- Inovação gera **externalidade** local, com difusão gradual
 - Estrutura de rede **incompleta**
 - Interações **locais** prevalecem
- Dinâmica **não linear** da difusão das inovações
 - Lógica de **contágio**
 - *Path dependence, lock-in*, armadilhas e divergência
 - Comportamento **idiossincrático**

3. Emergência

- Propriedades **emergentes** do sistema:
 - Resultado de **interação** dentro e entre os subsistemas
 - Diferentes **escalas** de escala e tempo
- Agregação **não linear** de atributos de subsistemas
- Sistemas complexos não são **redutíveis** ao micro
 - **Consequência** direta da emergência
- Macroestados do sistema podem ser **estáveis** apesar de dinâmica micro **turbulenta**

4. Interação em rede

- **Informação** dos agentes provém das redes
 - Local: trocas com **vizinhos** são mais intensas
 - Contextual: depende **como** se conecta aos outros
- Redes são **hierárquicas**
 - Sistema formado por subsistemas, **recursivamente**
 - **Modularidade**: interações dentro do subsistema são mais densas do que aquelas entre sistemas
- Redes são **resilientes**
 - **Múltiplos** caminhos entre os nós
 - Nós e caminhos **redundantes**

Creative destruction revisitada

- Uma economia complexa **continuamente** se constrói e reconstrói pela criação de **novos elementos**:
 - Tecnologias (físicas)
 - Instituições (ou tecnologias sociais)
- Como a economia se (auto) organiza e cria/muda sua estrutura (emergente) é “o **mais importante** de todos os fenômenos que buscamos explicar” (Schumpeter, 1908)
- “A **tecnologia** não é o único agente de mudança econômica mas é, de longe, o **principal**” (Solow, 1957)

Tecnologias

- Tecnologias são **meios** para se atingirem **objetivos** dos agentes
 - Processos industriais, máquinas, procedimentos médico, algoritmos, processos organizacionais, leis, instituições etc.
- Tecnologias são sempre **construídas**, organizadas e combinadas a partir de **partes**, componentes e subcomponentes
 - Componentes são também tecnologias
 - Novas tecnologias são **combinações** de tecnologias existentes
 - Tecnologias criam **oportunidades** para criação de novas tecnologias

Tecnologia e a economia

- Arthur (2015):
 - Se definirmos a economia como o conjunto de **arranjos** e **atividades** pelas quais uma sociedade atende às suas necessidades
 - Então, podemos afirmar que a economia **emerge** desses arranjos (tecnologias materiais e sociais)
 - Ou seja, a economia é uma **expressão** de suas tecnologias
 - As tecnologias em uso precisam se apoiar mutuamente de forma econômica **consistente**

O “algoritmo” econômico

1. Uma nova tecnologia **surge**, criada a partir das existentes, e se torna **disponível** para substituir tecnologias existentes ou seus componentes
2. A nova tecnologia define novas **oportunidades** para novas tecnologias (físicas e sociais)
3. Se as tecnologias **substituídas** desaparecem, as oportunidades que elas definiam e os seus componentes eventualmente também **desaparecem**
4. A nova tecnologia se torna disponível como componente **potencial** de novas tecnologias
5. A economia (bens e serviços produzidos e consumidos) se **ajusta** a esse processo (preços e quantidades)

Mudança estrutural

- A “estrutura” da economia, bem como a forma com que ela se altera, é **propriedade emergente** da dinâmica que envolve a **interação** entre agentes e tecnologias (físicas e sociais)
 - Espaço de oportunidades para novas tecnologias
 - Novas formas organizacionais
 - Novas instituições
- No longuíssimo prazo, os “blocos” de tecnologia **definem** um caminho para a interação econômica

Como fazer teoria?

- A economia enquanto um sistema complexo somente pode ser modelada de forma **algorítmica**
 - Conjuntos de equações (diferenciais) estáticas são **insuficientes** para representá-la
 - Analogia: apesar das inúmeras tentativas, ninguém conseguiu representar de forma completa a **teoria darwiniana** por meio de um conjunto de equações
- A dinâmica complexa evolutiva é baseada em mecanismos que operam em **estágios** que se **ativam** uns aos outros de forma **não linear** e continuamente definem **novas categorias** (espécies, tecnologias etc.)

Modelagem com complexidade (1)

Interação complexa entre elementos do sistema

- Estruturas de interação entre os **componentes** de uma tecnologia
 - Rede entre conhecimentos, procedimentos e artefatos
 - Exemplos: avião, carro, computador, celular etc.
- Estrutura de interação entre os **agentes** atuando dentro de um paradigma tecnológico
 - Rede entre cientistas/universidades, firmas, consumidores, outras instituições relevantes
 - Exemplos: *spillovers*, comércio, colaboração etc.

Modelagem com complexidade (2)

Objetivo: modelar sistemas tecnológicos compostos por muitos elementos que **interagem** de maneira **não trivial**

- Estrutura de interação representada por **grafo**
 - **Vértices** = elementos heterogêneos
 - **Arestas** = interações assimétricas (peso e direção)
- Grafos com estrutura **trivial**
 - Rede **completa**: todos elementos interagem com todos os demais
 - Rede **vazia**: nenhuma interação
 - Rede **estrela**: coordenação central

Referências

- ARTHUR, W. B. *Complexity and the economy*. New York: Oxford University Press, 2014.
- BAK, P. *How nature works: the science of self-organized criticality*. New York: Springer, 1996.
- KIRMAN, A. *Complex Economics: Individual and collective rationality*. London: Routledge, 2010.