

# EPISTEMOLOGIA: O QUE É COMPLEXIDADE?

Prof. Dr. GUANIS DE BARROS VILELA JUNIOR

## Nos dicionários...

- Houaiss: “diz-se de ou conjunto, tomado como um todo mais ou menos coerente, cujos componentes funcionam entre si em numerosas relações de interdependência ou de subordinação, de apreensão muitas vezes difícil pelo intelecto e que geralmente apresentam diversos aspectos”.
- Aurélio: “Que abrange ou encerra muitos elementos ou partes”; “Confuso, complicado, intrincado”.

Introdução

“NADA É SIMPLES.  
TUDO É SIMPLIFICADO”  
(Poincare)

# Sistemas Complexos

- Tudo que pesquisamos é intrinsicamente complexo apesar das enormes simplificações que realizamos sob o ponto de vista metodológico.
- Os SISTEMAS COMPLEXOS são metodologicamente pensados e pesquisados há pouco tempo quando comparados com outras áreas de investigação com mais de 500 anos de pesquisas, tais como, a mecânica newtoniana e a biologia.
- A matemática tem contribuído bastante para a compreensão dos sistemas complexos a partir da descoberta do CAOS em sistemas determinísticos, característica esta associada aos sistemas dinâmicos e não-lineares.

# Tipos de Sistemas Complexos



# Sistemas Caóticos

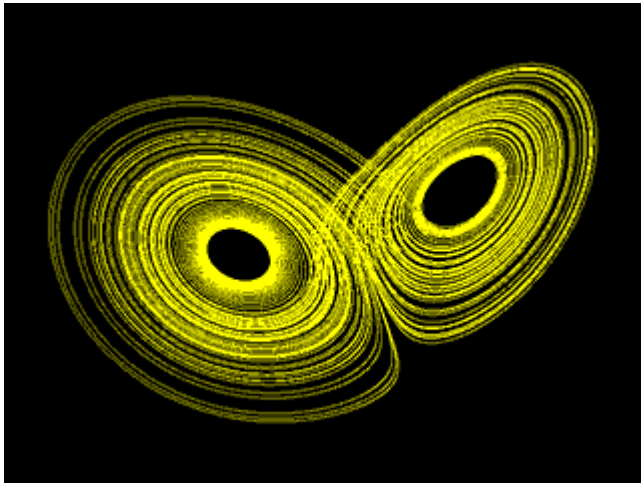
Provérbio chinês:

*“Por falta de um prego perdeu-se uma ferradura,  
Por falta de uma ferradura perdeu-se um cavalo,  
Por falta de um cavalo perdeu-se um cavaleiro,  
Por falta de um cavaleiro perdeu-se uma batalha,  
Por falta de uma batalha perdeu-se uma guerra,  
Por falta de uma guerra perdeu-se um império.”*

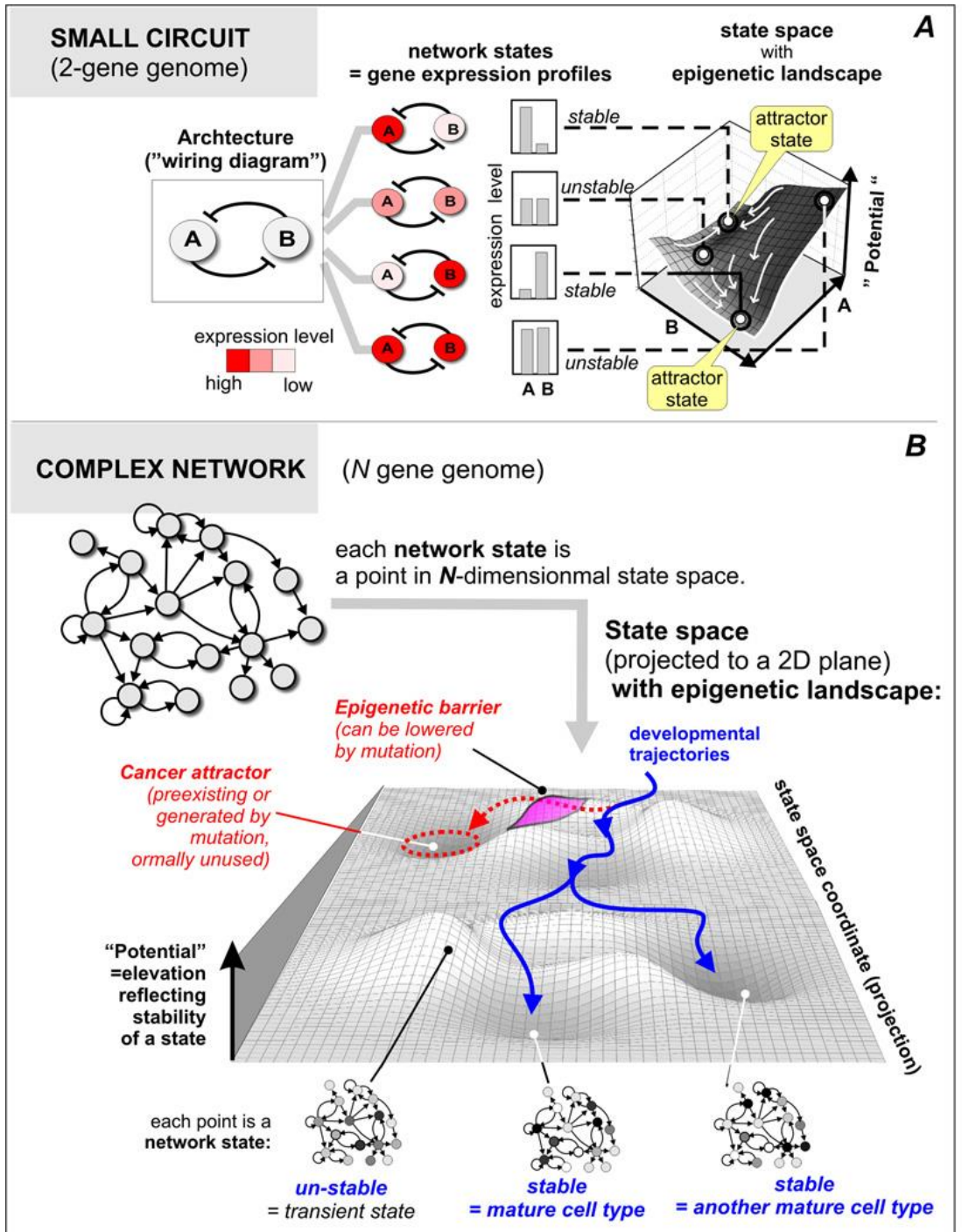
# Sistemas Caóticos

- Os Sistemas Caóticos apresentam as seguintes propriedades:
  - 1) são dependentes das condições iniciais (efeito borboleta);
  - 2) são topologicamente imbricados (espaço fase transitivo, ou seja o sistema evolui ao longo do tempo com sobreposições). Ex: Vórtices de um fluxo turbulento.
  - 3) suas órbitas periódicas devem ser densas. Ex: Atratores.

# Sistemas Caóticos



Atrator estranho





# Sistemas Adaptativos Complexos

- São caracterizados pela interação de agentes (componentes) adaptativos de um conjunto de auto similaridades.
- Possuem grande número de componentes que ao interagir se adaptam (ou aprendem).
- Apresentam elevado grau de capacidade adaptativa que aumentam sua resiliência frente às perturbações.
- Outras propriedades: comunicação; cooperação, especialização, organização espaço temporal e reprodução.

Mudanças no ambiente

Mudanças no ambiente

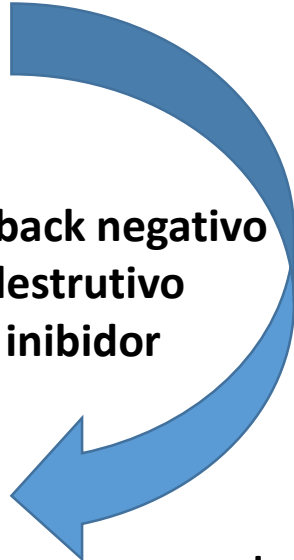
Comportamento adaptativo complexo

Info out

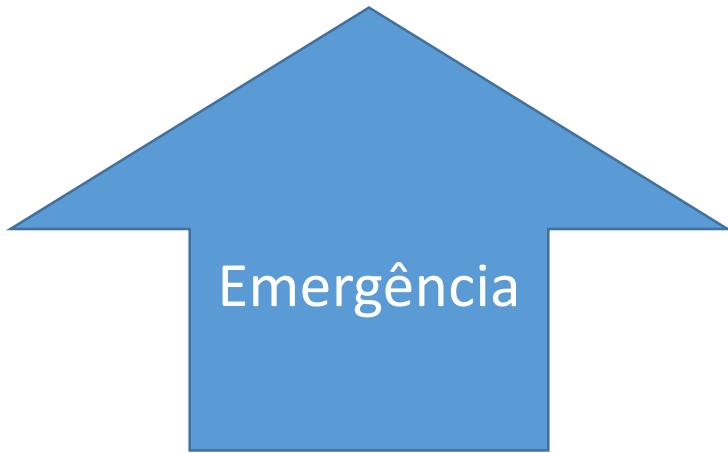
Info in



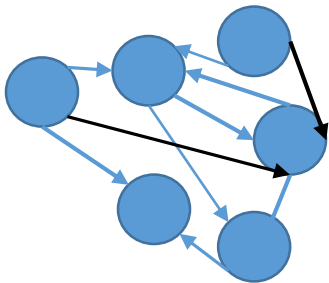
Feedback positivo construtivo amplificador



Feedback negativo destrutivo inibidor



Emergência



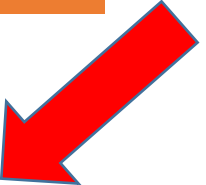
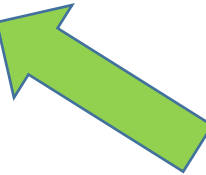
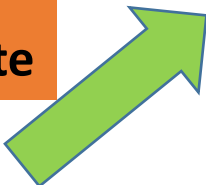
Auto organização local

Mudanças no ambiente

Mudanças no ambiente

Info in

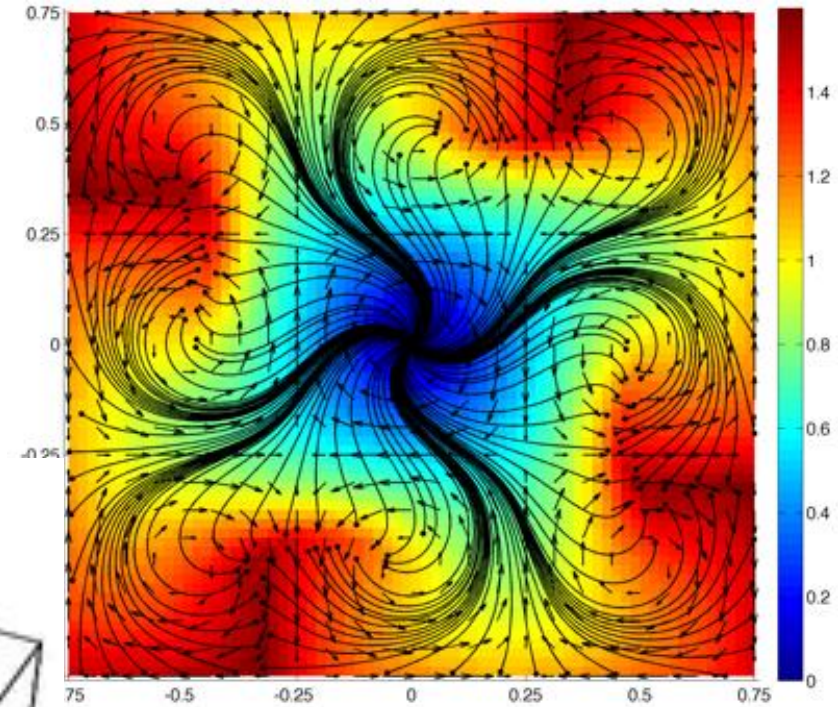
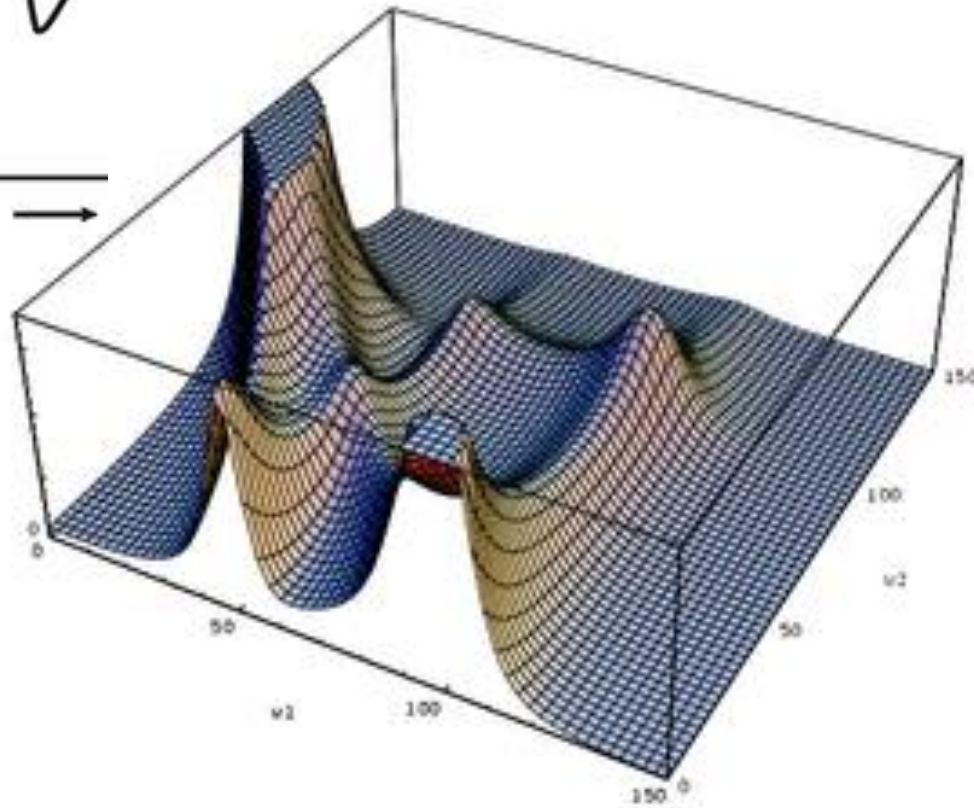
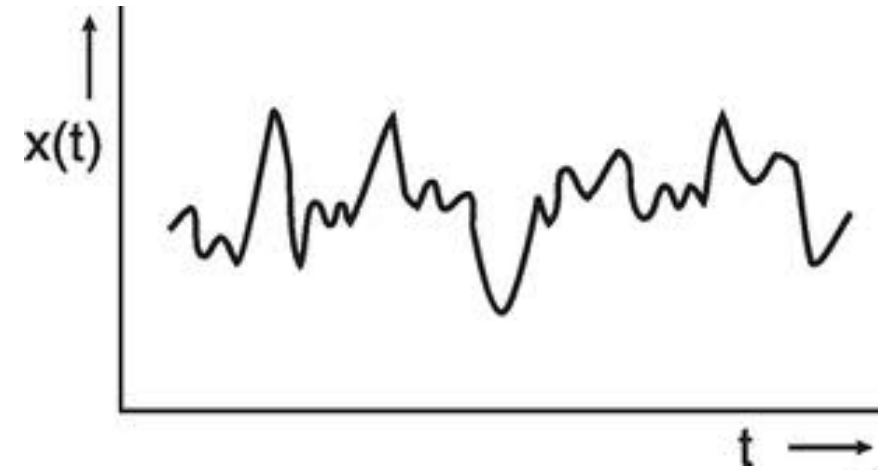
Info out



# Sistemas Não - Lineares

- São aqueles onde não existe proporcionalidade direta entre suas variáveis.
- Apresentam, usualmente, graus de liberdade elevados (muitas variáveis) o que dificulta a sua previsibilidade temporal.
- Exemplo: previsão do tempo.

# Sistemas Não - Lineares



# Características dos Sistemas Complexos

## **Falhas em Cascata (Efeito dominó)**

Devido ao forte acoplamento entre os componentes dos sistemas complexos, uma falha de um ou mais componentes pode levar a falhas em cascata que podem ter consequências catastróficas sobre o funcionamento do sistema.

## **Podem ser abertos, ou seja, dissipam energia.**

Os sistemas complexos são frequentemente longe do equilíbrio energético, mas apesar deste fluxo, pode haver estabilidade padrão (sinergia).

# Características dos Sistemas Complexos

## **Os sistemas complexos podem ter uma memória**

A história de um sistema complexo, pode ser importante . Os sistemas dinâmicos mudam ao longo do tempo, e os estados anteriores podem ter uma influência sobre atuais estados . Mais formalmente, sistemas complexos frequentemente apresentam histerese.

## **Os sistemas complexos podem ser aninhados**

Os componentes de um sistema complexo podem ser eles próprios sistemas complexos . Por exemplo, uma economia é composta de organizações, que são compostas por pessoas, os quais são constituídos por células - todos os quais são sistemas complexos .

# Características dos Sistemas Complexos

## **Rede dinâmica de multiplicidade**

Além das muitas interações locais por acoplamento ocorrem também conexões inter áreas.

Por exemplo, no córtex cerebral humano, existe conectividade local densa e algumas projeções de axônios muito longos entre as regiões dentro do córtex e para outras regiões do cérebro.

# Características dos Sistemas Complexos

## **Pode desencadear fenômenos emergentes**

Comportamentos que são emergentes, ou seja, que só podem ser estudados a um nível superior . Por exemplo, os alunos desta turma têm fisiologia, bioquímica e desenvolvimento biológico que estão em um nível de análise, mas o seu comportamento social é uma propriedade que precisa ser analisada em um nível diferente.

## **Relacionamentos são não - lineares**

Uma pequena perturbação pode causar um grande efeito (efeito borboleta), um efeito proporcional, ou mesmo nenhum efeito.



# Características dos Sistemas Complexos

## **Relacionamentos contêm loops de feedback**

Ambos: feedback negativo (amortecimento) e positivo (amplificador) são sempre encontrados em sistemas complexos.

Os efeitos do comportamento de um elemento são retroalimentados de modo a interferir no mesmo.

# Referências

- Chu, Dominique (2011). *Complexity: Against Systems*. Theory in Biosciences, Springer Verlag.
- Rocha, Luis M. (1999). "Complex Systems Modeling: Using Metaphors From Nature in Simulation and Scientific Models". *BITS: Computer and Communications News*. Computing, Information, and Communications Division. Los Alamos National Laboratory. November 1999
- Ignazio Licata & Ammar Sakaji (eds) (2008). *Physics of Emergence and Organization*, World Scientific and Imperial College Press.
- De Toni, Alberto and Comello, Luca (2011). *Journey into Complexity*. Udine: Lulu.