

# **Fundamentos teóricos para um enfoque sistêmico da agricultura**

**Benedito Silva Neto**

**Disciplina Enfoque sistêmico na agricultura**

**Curso de Agronomia – Linha de Formação em Agroecologia**

**Universidade Federal da Fronteira Sul – campus Cerro Largo**

# Introdução

## ■ Sistema

- Noção associada ao fato de muitos objetos a serem estudados são conjuntos cujos componentes relacionam-se entre si.

## ■ Enfoque sistêmico

- Ênfase nas propriedades do conjunto de elementos inter-relacionados, em detrimento da análise dos elementos considerando-os de forma isolada.

✓ *Questão básica: o enfoque sistêmico é apenas uma forma de interpretar a realidade ou o caráter sistêmico é uma característica da própria realidade?*

- ✓ *Caso da agricultura?*

# Conceitos fundamentais

- O enfoque sistêmico é uma questão de ordem *ontológica*, isto é, que diz respeito a própria natureza da realidade.
- Não é apenas uma questão *epistemológica*, que implica apenas em como conhecer a realidade.

# Enfoque sistêmico: apenas um método?

- É possível estudar a realidade sem pressupostos sobre a sua natureza?
  - “Ausência de pressupostos” = pressuposto de sistemas simples
    - Exemplo: estatística probabilística
  - ✓ *Os primeiros teóricos do enfoque sistêmico pretendiam que este fosse usado tal como a estatística (probabilista) é empregada!*
- (de forma pretensamente neutra de um ponto de vista ontológico...)*
- ✓ *Contradições com a própria noção de sistema, pois esta é importante porque revela características da realidade em si que devem ser consideradas na atividade científica...*

# Estudos baseados no enfoque sistêmico: 1ª fase (I)

- Enfoque sistêmico: reação à fragmentação e ao reducionismo do conhecimento científico
  - Reduccionismo: procura de soluções para cada problema considerado isoladamente, negligenciando as suas relações com outros problemas
  - Exemplos de reducionismo na Agronomia
    - Inseticidas para insetos “praga”
    - Herbicidas para plantas invasoras
    - Adubação das plantas de forma independente do manejo e conservação do solo

# Estudos baseados no enfoque sistêmico: 1ª fase (II)

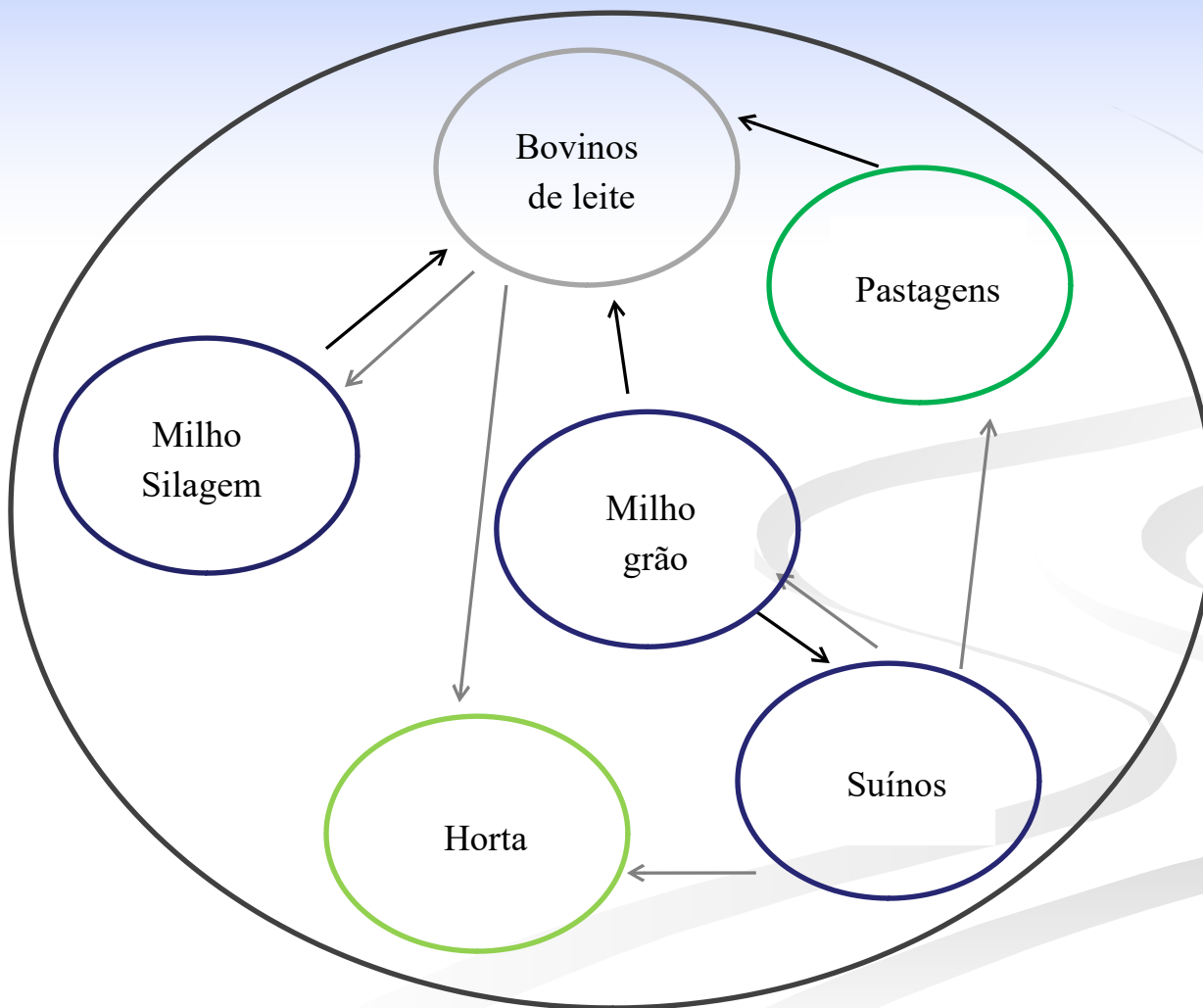
## ■ Procedimento básico

- Identificação do sistema e das suas fronteiras
- Identificação dos componentes do sistema
- Estudo das relações entre os componentes
- Estudo das propriedades do sistema
- ✓ *Obs.: uso de diagramas e outros tipos de formalização visual*

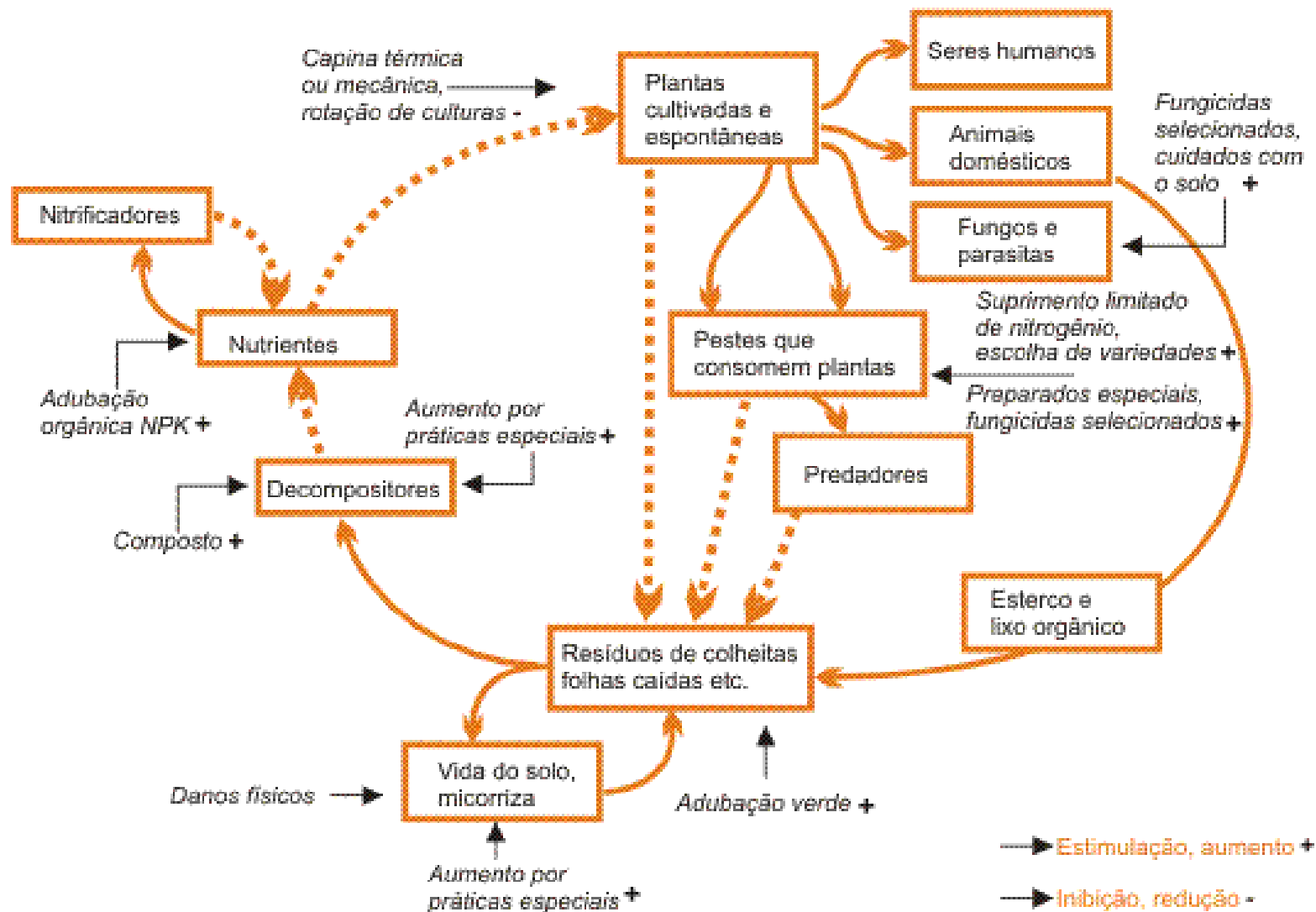
## ■ Porém,

- Fronteiras do sistema??
  - Arbitrariade na definição dos componentes (grau de agregação)?
  - Estudos ascendentes que não permitem identificar propriedades típicas dos sistemas
- ✓ *Resultados (em geral): descrição do sistema + análise dos componentes .... propriedades do sistema???*

# Exemplo de formalização de um sistema em um diagrama



# Exemplo de formalização de um sistema agrícola ecológico





# Estudos baseados no enfoque sistêmico: 2ª fase

- Impacto dos estudos sobre a complexidade sobre o enfoque sistêmico
  - Propriedades sistêmicas: origem na complexidade
    - Propriedades emergentes
    - Pontos críticos
    - Regimes de funcionamento (padrões de comportamento)
    - ...
  - Incerteza: parte da natureza dos sistemas complexos
    - Imprevisibilidade x previsibilidade

# Enfoque sistêmico e materialismo histórico

- Reintegração da ontologia
  - O que estudar (ontologia) e como estudar (epistemologia) são indissociáveis
  - Sujeito e objeto x método
- Especificidade do ser social
  - Histórico e imanente à matéria
- Caráter histórico (complexo!) dos objetos da ciência
- Perspectiva da totalidade (= aspecto da complexidade)
- Contradições nos sistemas sociais
  - Conflitos de classe nas sociedades capitalistas, por exemplo

# Enfoque sistêmico e complexidade

- Enfoque sistêmico
  - heterogeneidade interna (componentes)
  - relação entre os componentes
  - propriedades dos componentes (isolados) x propriedades do sistema
  - “complexidade”, “evolução”...
- Os sistemas e suas propriedades
  - apenas uma forma de interpretar a realidade?
  - ou dizem respeito à natureza da realidade?
- ✓ *Sistemas são entidades reais, mas esta realidade é complexa*
  - ✓ *Caráter ontológico e não apenas epistemológico da complexidade*
- ✓ *Sistemas complexos da biosfera são “estruturas dissipativas”*
- ✓ *Especificidade dos seres inorgânicos, biológicos e sociais*
  - ✓ *Diferentes níveis de complexidade ontológica*

# A Terra: um sistema evolutivo



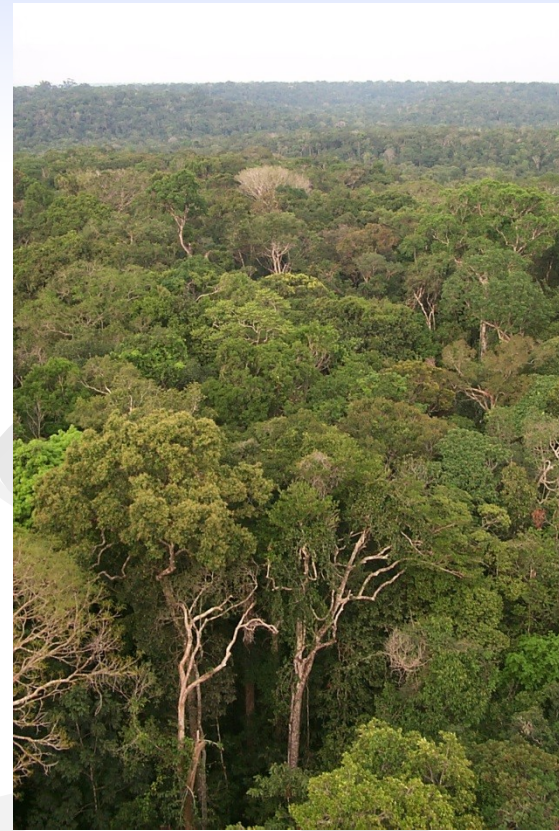
# As transformações do planeta Terra



Inf...zação



# Exemplos de sistemas termodinâmicos organizados (estruturas dissipativas)



# Planeta Terra e evolução

- Desde antes da vida, a Terra evolui (!?)
  - A Biosfera evolui (desde 3,5 bilhões de anos atrás).
  - Os Biomas evoluem.
  - Os Ecossistemas evoluem.
  - As Sociedades evoluem...
- 
- ✓ *Mas o que é evolução?*
    - ✓ *Evolução = “progresso”?*
    - ✓ *Evolução x História?*

# Algumas características da evolução

- No longo prazo, a evolução não apresenta uma tendência clara!
  - Mudança
  - Irreversibilidade
  - Novidade
  - Surpresa
- O que os sistemas evolutivos têm em comum?
  - **TODOS SÃO SISTEMAS TERMODINÂMICOS QUE SE MANTÊM LONGE DO EQUILÍBRIO!**
    - “ESTRUTURAS DISSIPATIVAS”
  - **TODOS SÃO SISTEMAS COMPLEXOS AUTO-ORGANIZADOS**
    - “COMPLEXIDADE” (= ?)



# Fundamentos termodinâmicos

- Algumas relações e conceitos básicos:

$$\Delta E = \Delta G + T\Delta S$$

onde

$E$  = energia total do sistema (joules)

$G$  = energia livre (joules)

$T$  = temperatura (graus Kelvin)

$S$  = entropia (joules/graus Kelvin)

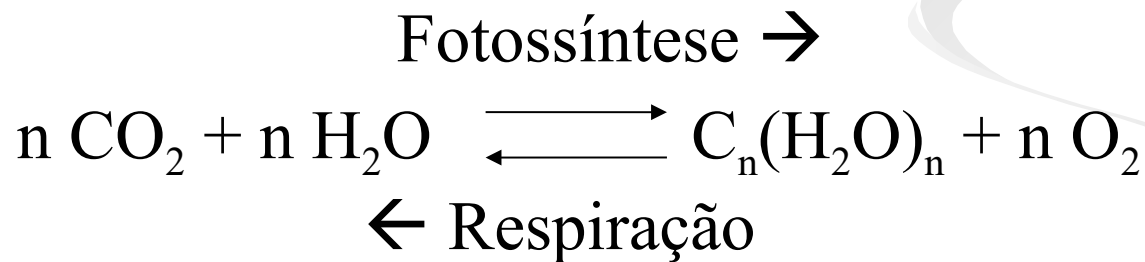
( $\Delta$  = *mudança, alteração*)

Quanto menor a organização de um sistema, maior é a sua entropia.

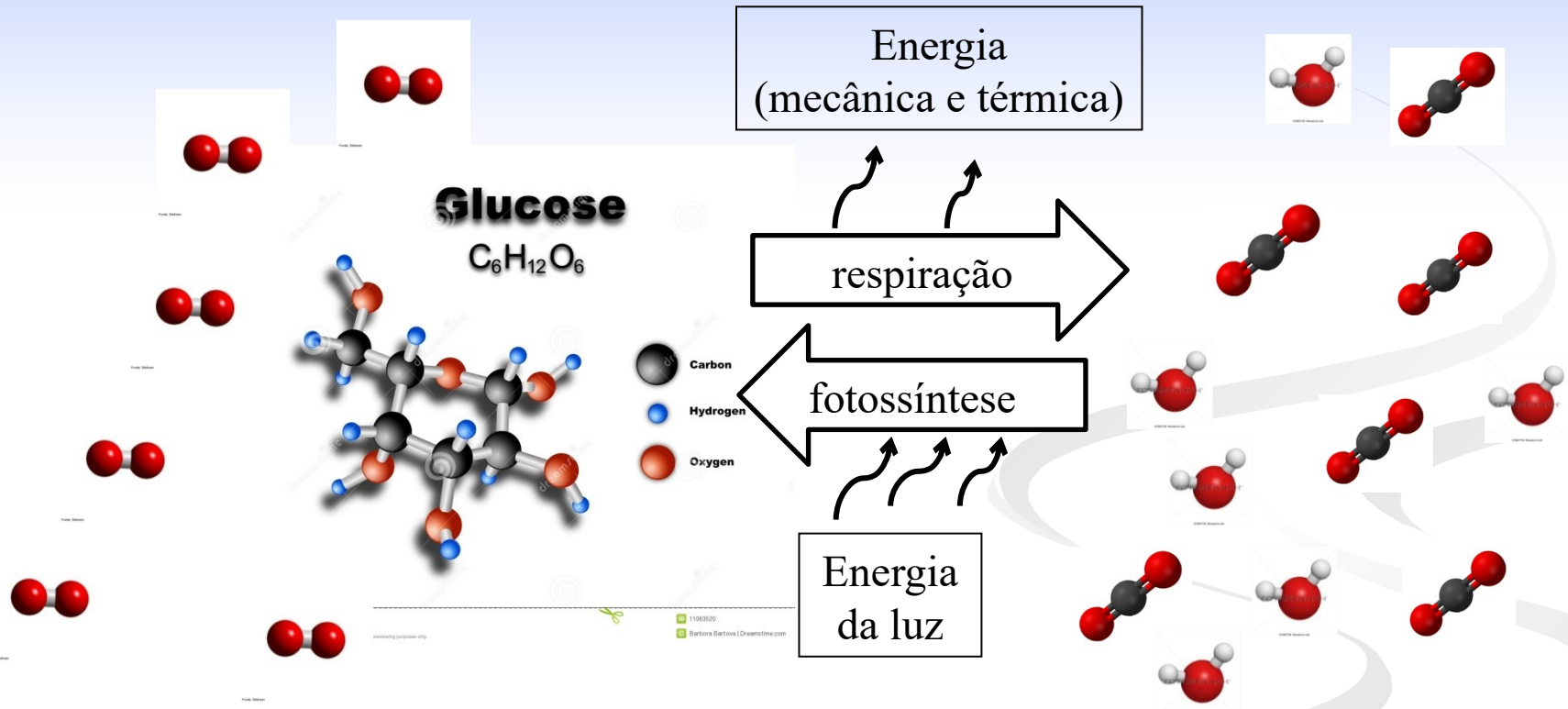
- A entropia ( $S$ ) indica a quantidade de energia que não pode produzir trabalho (grosso modo, trabalho = alterações de volume e de pressão), dissipando-se na forma de calor.
- Assim a entropia é definida por:  $S = Q/T$   
onde  $Q$  = calor e  $T$  = temperatura

# O planeta Terra: um sistema termodinâmico longe do equilíbrio

- Atualmente:
- Concentração elevada de gás oxigênio (altamente reativo).
- Baixa concentração de gás carbônico (pouco ativo quimicamente).
- Água líquida.



# Exemplo: fotossíntese e respiração



Entropia da molécula de glicose (carbono):  
 $S \sim \ln(1) = 0$

Entropia das moléculas de gás carbônico:  
 $S \sim \ln(6) = 1,792$

# Estrutura Dissipativa



**Observação: todo sistema termodinâmico isolado tende ao equilíbrio, atingindo um máximo de entropia**

# Estruturas dissipativas

- Origem fundamental da complexidade
- Complexidade:
  - Sistemas com estruturas simples podem apresentar comportamento complexo (imprevisível).
  - Sistemas com estruturas complicadas podem apresentar comportamento simples (previsível).
  - Historicidade
- *Estrutura x comportamento*
- *Mudanças qualitativas de comportamento*
- *Formalização matemática:*
  - ➔ *sistemas não-lineares (não aditivos = interações)*

# Aspectos matemáticos dos sistemas complexos

- Caracterizam-se por relações não lineares (ou não aditivas) e, em geral recursivas

- Relação aditiva

$$6 + 3 = 9$$

- Relações não aditivas

$$6 * 3 = 18$$

$$6 / 3 = 2$$

$$6 ^ 3 = 216$$

- Relação recursiva

$$e_t = e_{(t-1)} + 3$$

$$e_0 = 1 \Rightarrow e_4 = ?$$

## Observação importante:

O fato de um sistema ser não aditivo, NÃO significa que relações aditivas entre seus componentes não sejam válidas ou que ele possa transgredir relações matemáticas, como por exemplo:  $6 + 3 \neq 9$  (?!?!?)

# Complexidade ontológica

- Ordem de complexidade ontológica
  - Sistemas físicos < químicos < biológicos < sociais
- Isto refere-se apenas as características gerais dos sistemas, não ao comportamento de sistemas específicos
  - Sob determinadas circunstâncias, um sistema físico pode apresentar maior complexidade (relação entre estrutura e função; imprevisibilidade, p.ex.) do que um sistema social => característico da própria complexidade!
  - Por outro lado, sistemas sociais são mais complexos (caráter histórico mais pronunciado, menor previsibilidade, p. ex.) que os demais
    - caráter contingente das escolhas dos indivíduos.
    - regularidade estatística do comportamento dos indivíduos, determinada pela sua condição de classe.

# O ser social

- Os seres humanos modificam intencionalmente a natureza, ao se relacionar com ela
  - Intenção consciente (“posição teleológica”) que mobiliza relações de causa e efeito (“processos causais”)
  - Posições teleológicas são determinadas por escolhas entre alternativas (liberdade) de sujeitos conscientes sobre a manipulação de objetos, ou sobre posições teleológicas de outros sujeitos
    - ⇒ caráter contingente, porém racional, das escolhas (necessidade “post festum”...)
  - Posições teleológicas sobre outras posições teleológicas (relações sociais) geram processos sociais causais.
  - Os sistemas sociais são os que apresentam maior complexidade ontológica



# Propriedades emergentes e Totalidade

- Bertalanfy: “O sistema é maior do que a soma das partes que o compõe”.
- As relações não lineares entre os componentes de um sistema podem gerar propriedades do mesmo não encontradas em nenhum dos seus componentes.  
= PROPRIEDADES EMERGENTES
  - ✓ *Química: substâncias x átomos*
  - ✓ *Biologia: células x tecidos; tecidos x órgãos*
  - ✓ *Sociedade: indivíduos x critérios de decisão*
- As propriedades de um sistema são determinantes das propriedades de seus componentes = TOTALIDADE
  - ✓ *Sociedade: preços; reprodução social de unidades de produção*

# Exemplos

The background features a blue-to-white gradient. On the right side, there are several thick, light gray wavy lines that curve and flow downwards, creating a sense of movement and depth.

# Sistema inorgânico: a atmosfera

- O **Atrator de Lorenz** foi desenvolvido por [Edward Lorenz](#) em [1963](#), que o derivou a partir das equações simplificadas de rolos de convecção que ocorrem nas equações da [atmosfera](#). É um mapa caótico que mostra como o estado de um [sistema dinâmico](#) (contínuo) evolui no tempo num padrão complexo, não-repetitivo e cuja forma é conhecida por se assemelhar a uma borboleta.
- Trata-se de um sistema não-linear, tridimensional e determinístico que exhibe comportamento caótico e demonstra aquilo a que hoje se chama um [atrator estranho](#).

# Modelo de Lorenz

$$dX/dt = s.(Y - X)$$

$$dY/dt = r.X - Y - X.Z$$

$$dZ/dt = X.Y - b.Z$$

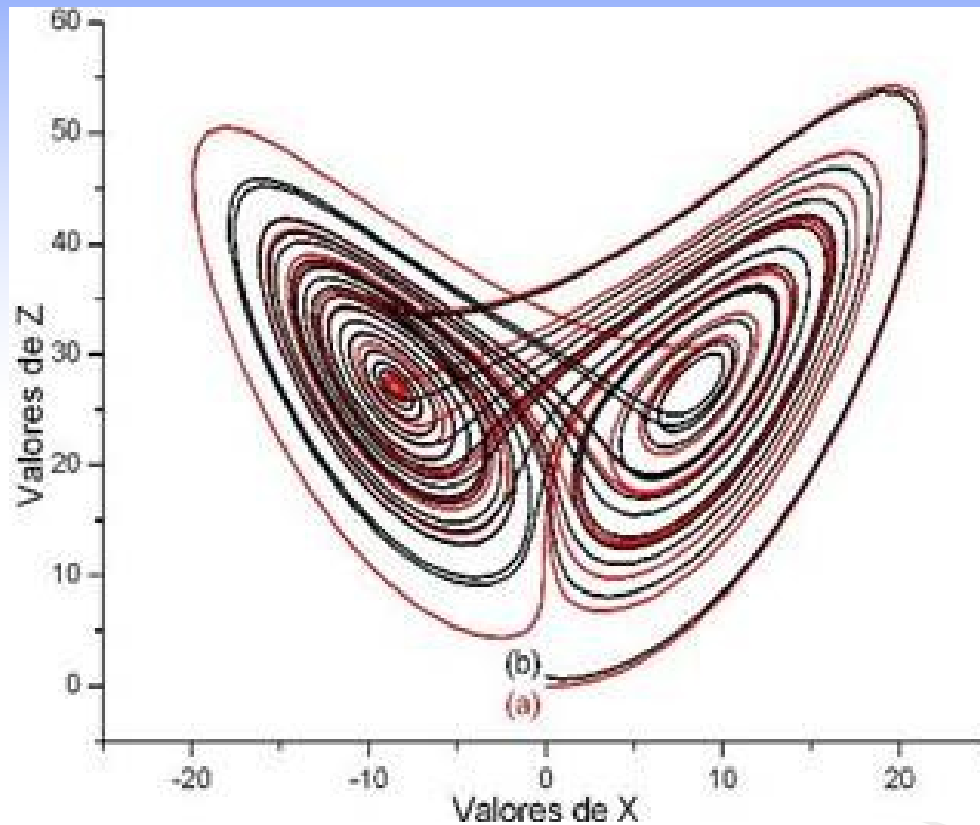
Trata-se de um sistema **contínuo tridimensional**, onde:

- "X" representa o fluxo convectivo ("vento");
- "Y" a distribuição horizontal das temperaturas;
- "Z" a distribuição vertical das temperaturas.

Os três parâmetros que intervêm nas equações são:

- . "s" relação entre a viscosidade e a condutividade térmica, ("número de Prandtl");
- . "r" proporcional à diferença de temperaturas entre os lados inferior e superior, ("número de Rayleigh reduzido");
- . "b" relação entre a altura e a largura do retângulo.

# Atrator de Lorenz



- Atrator de Lorenz no plano XZ, para os valores iniciais:  
(a)  $X_0 = 0,0$ ;  $Y_0 = 0,6$ ;  $Z_0 = 0,0$ ;  
(b)  $X_0 = 0,0$ ;  $Y_0 = 0,6$ ;  $Z_0 = 1,0$ .

# População com comportamento discreto

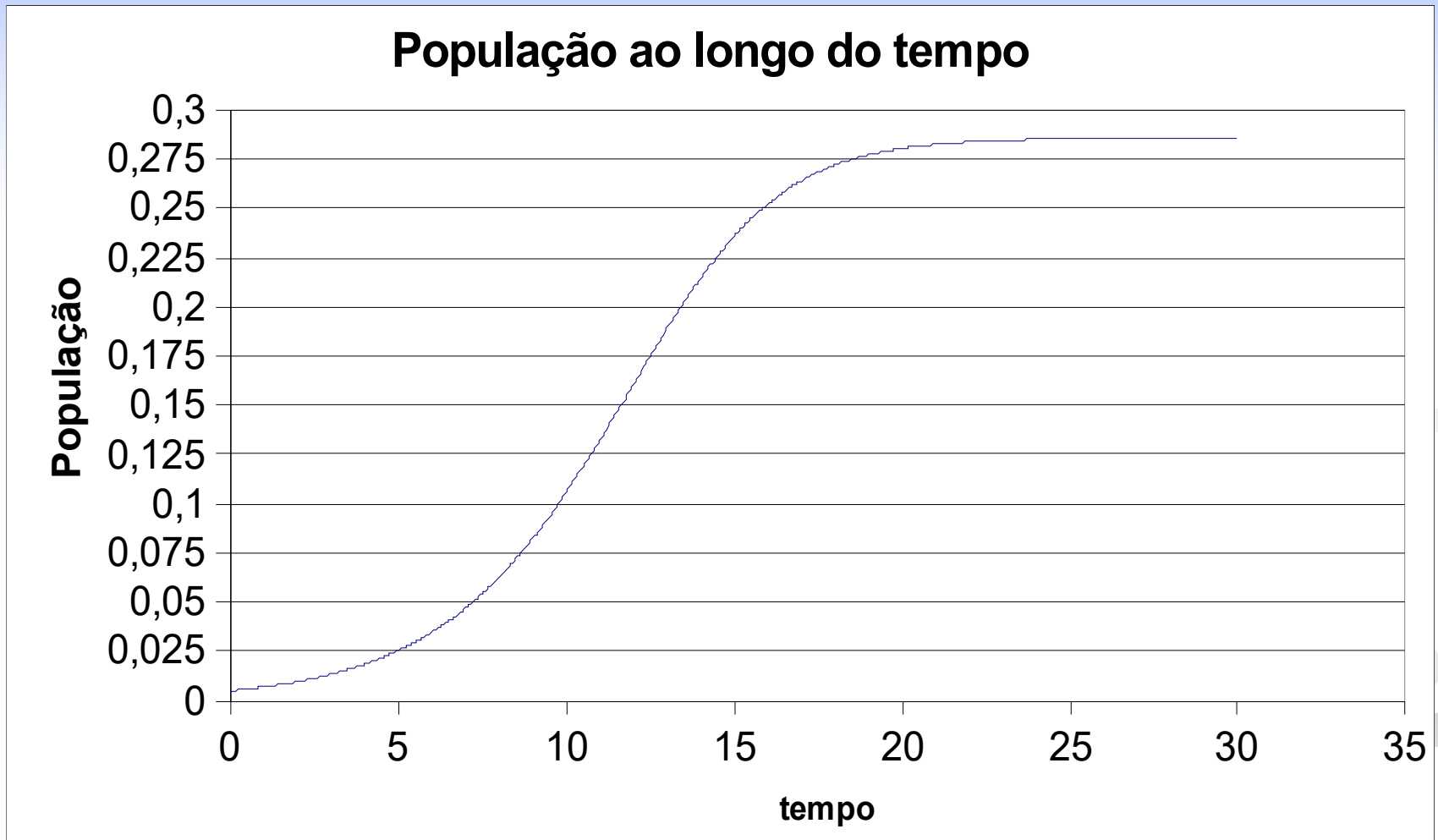
## *Emergência*

Modelo:  $P_t = P_{t-1} + P_{t-1} * r * (1 - P_{t-1}/P_{max})$

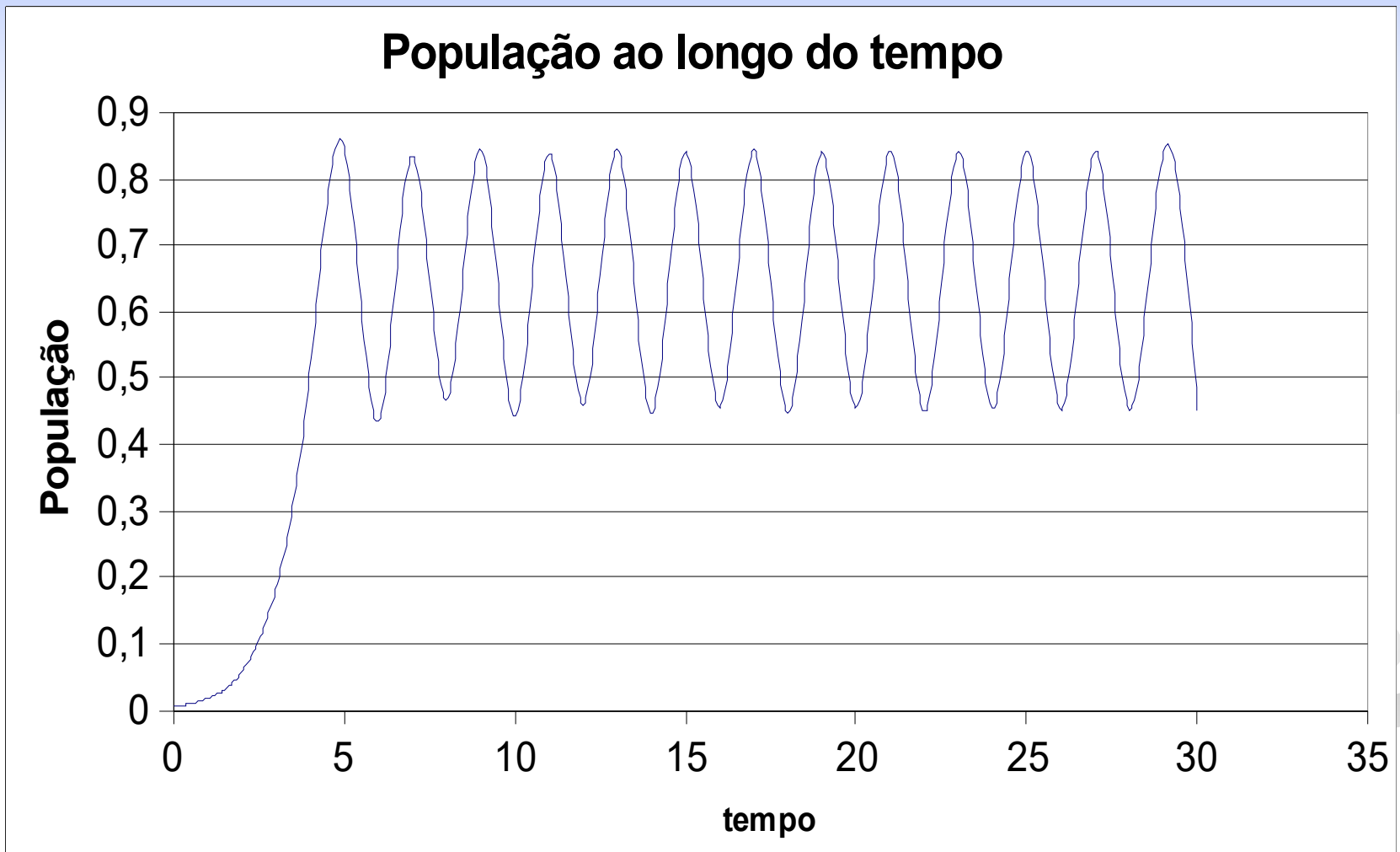
O comportamento deste sistema depende do valor da taxa potencial de crescimento “r” (que define as relações entre os membros da população)

Possibilidade de diferentes regimes de funcionamento, inclusive caótico-determinista

# Tendência ao equilíbrio

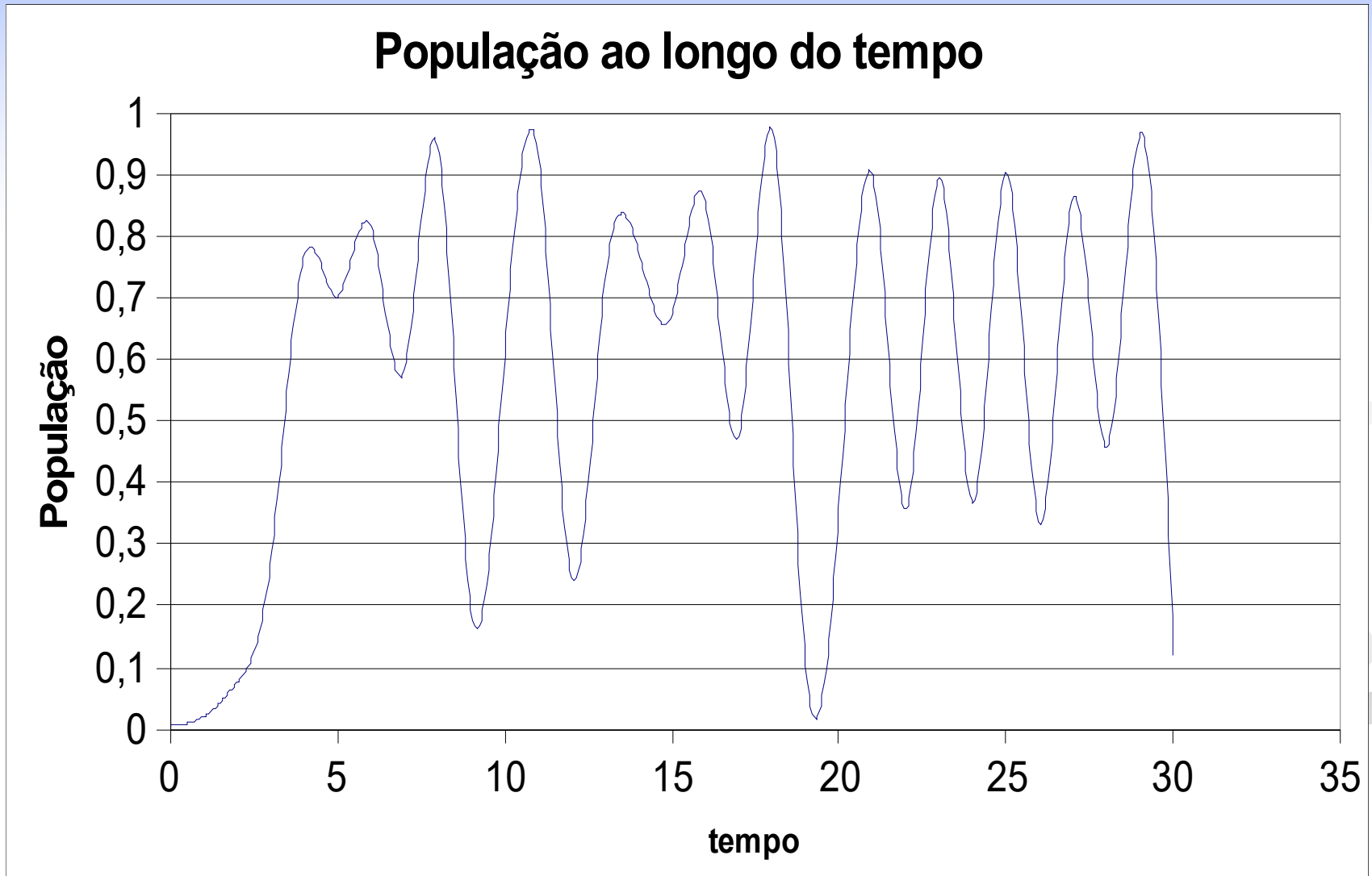


# Comportamento cíclico

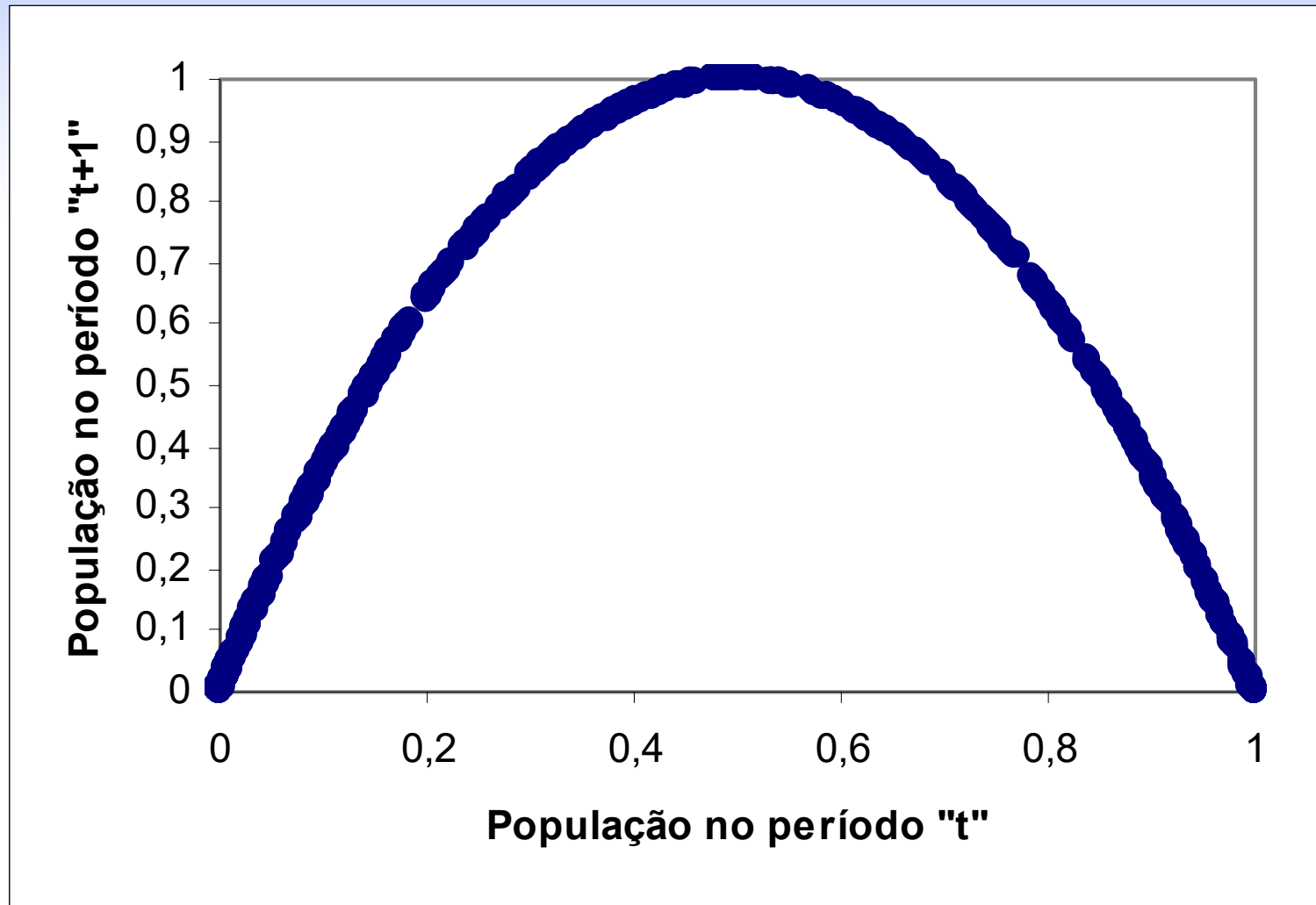




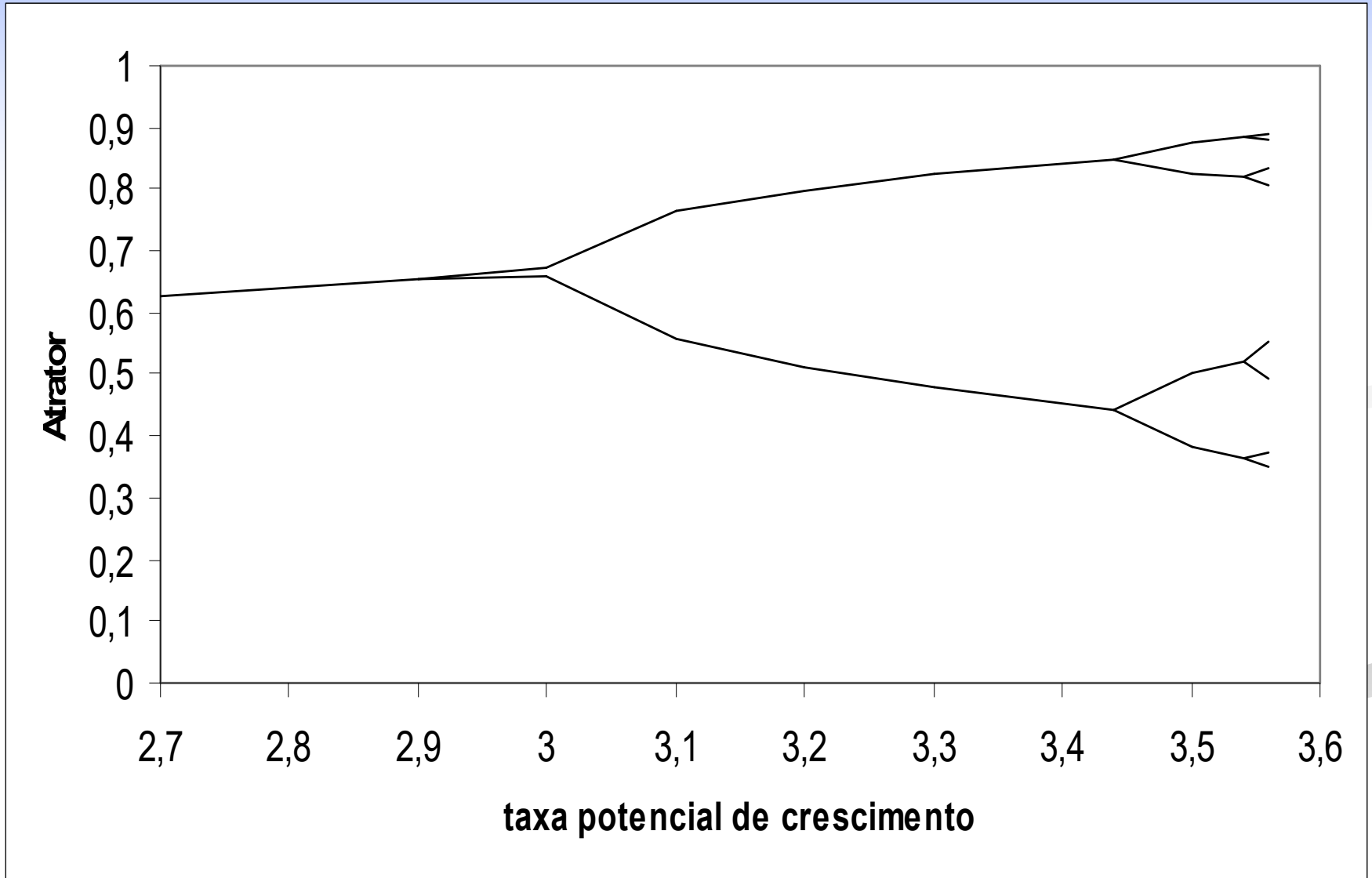
# Caos-determinista – série temporal



# Caos Determinista - atrator estranho



# Bifurcações

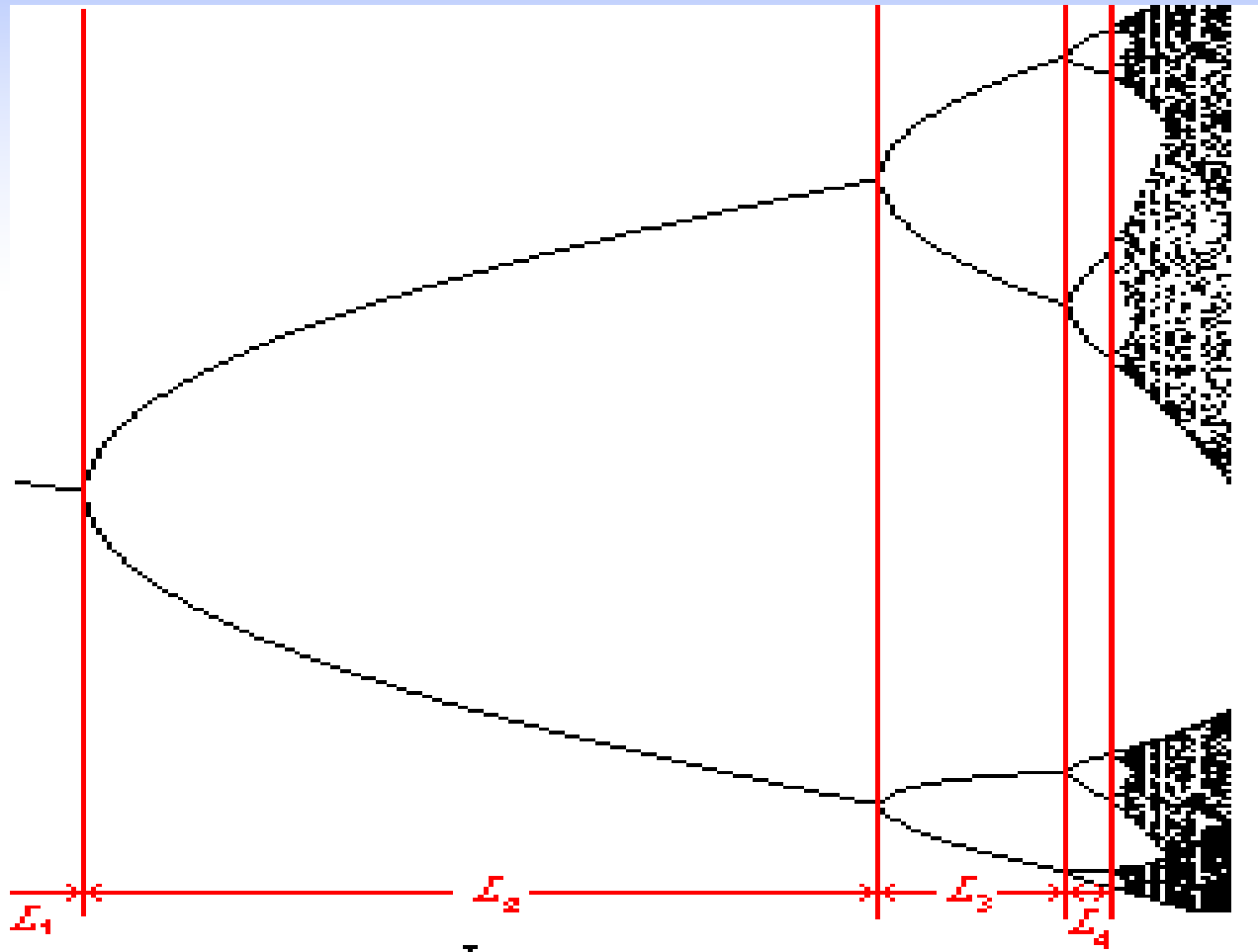


Há certas relações que ocorrem entre as bifurcações que são as mesmas em sistemas de natureza muito diferentes!

Esta propriedade ocorre em todo sistema complexo cujo comportamento pode ser descrito por uma função discreta com um parâmetro.

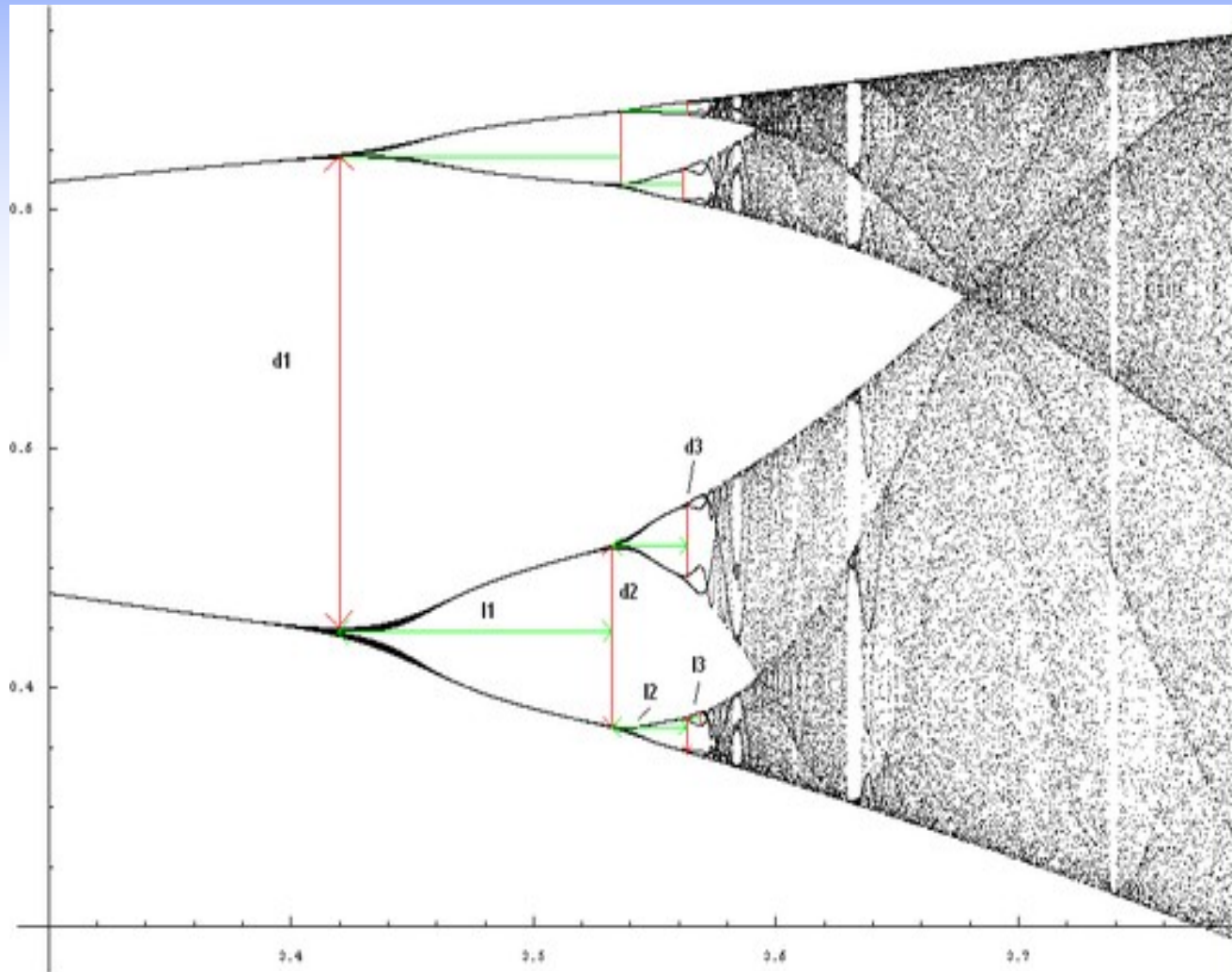
Ela é descrita pelas constantes de Feigenbaum.

# Primeira constante de Feigenbaum



$$\delta = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{L_n}{L_{n+1}} = 4.6692016091\dots$$

# Segunda constante de Feigenbaum

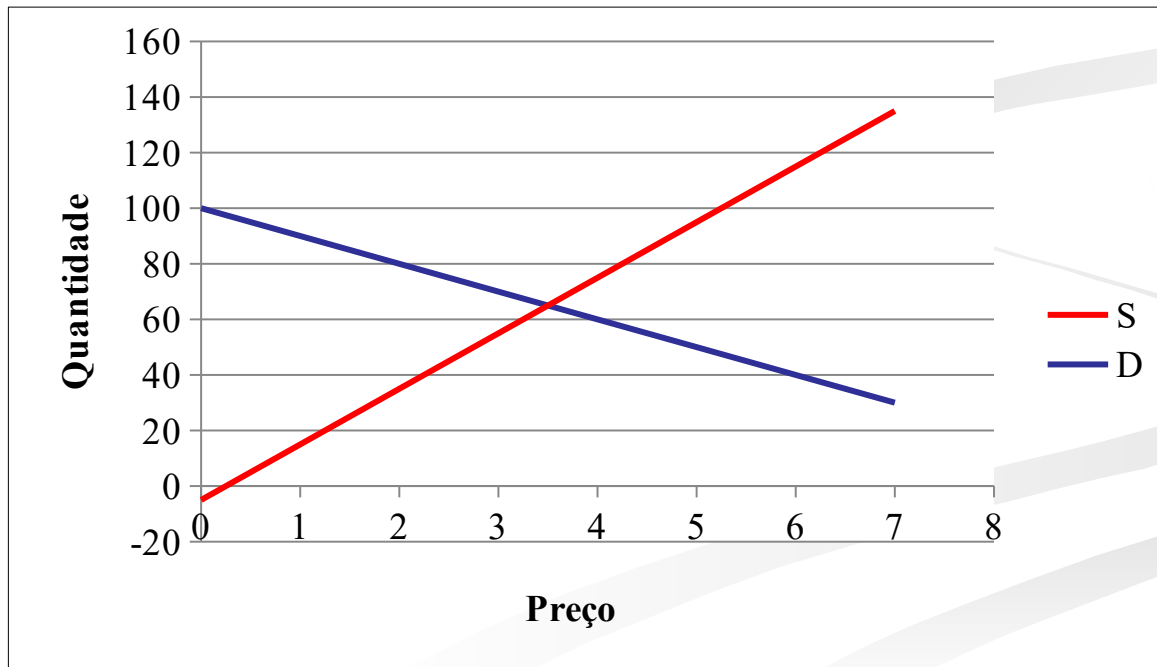


$$\alpha = \lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{d_n}{d_{n+1}} \simeq 2,50290787509 \dots$$

# Sistema social: mercado agrícola

## ❖ Totalidade

- Mercado sazonal (sistema discreto)
- Oferta =  $S = s p_a - C$  (onde  $p_a$  = preço antecipado)
- Demanda =  $D = - d p_r + B$  (onde  $p_r$  = preço real)
- $S = D \Rightarrow p_a = p_r = p_e$  (onde  $p_e$  = preço de equilíbrio)

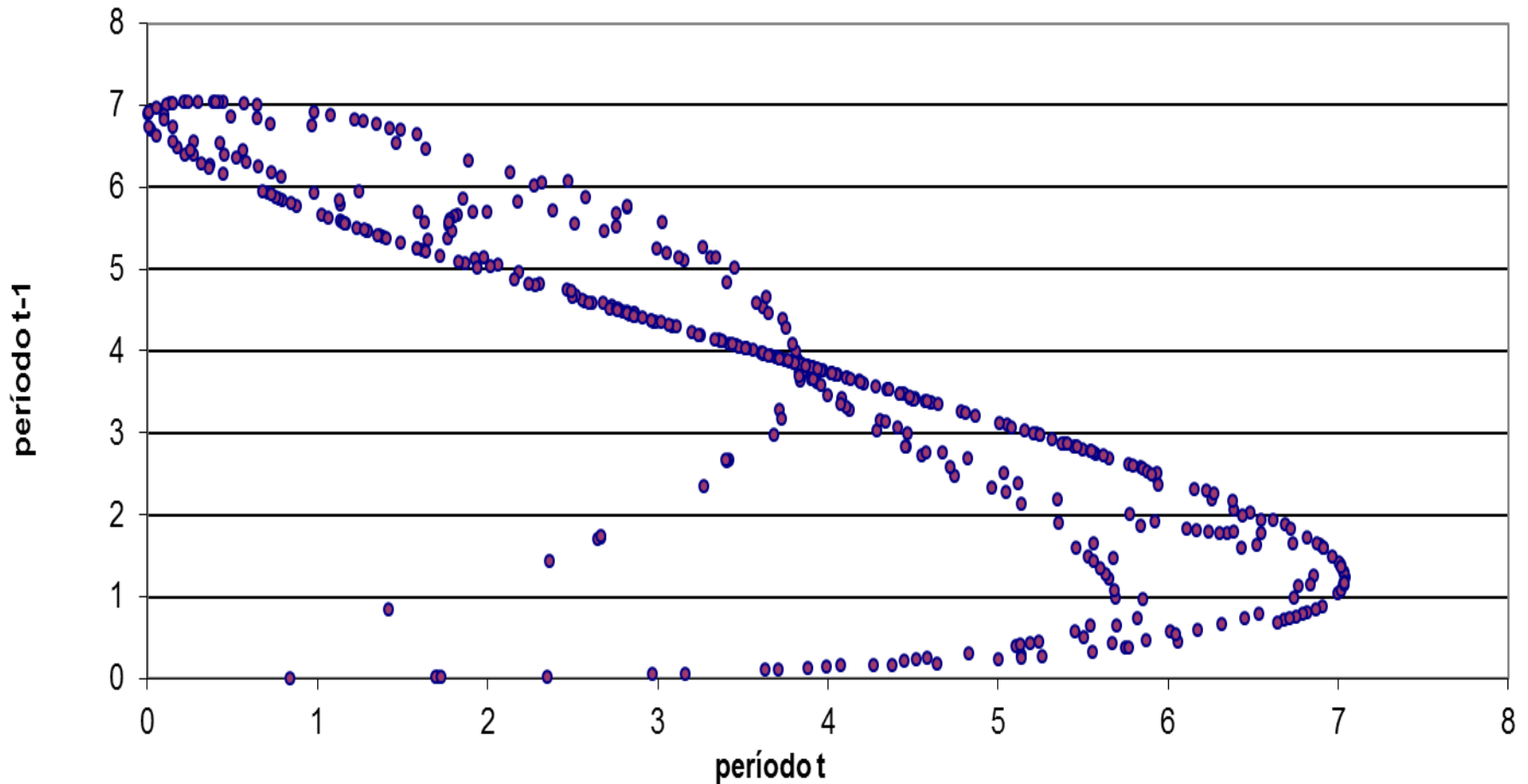


# Mercado Agrícola

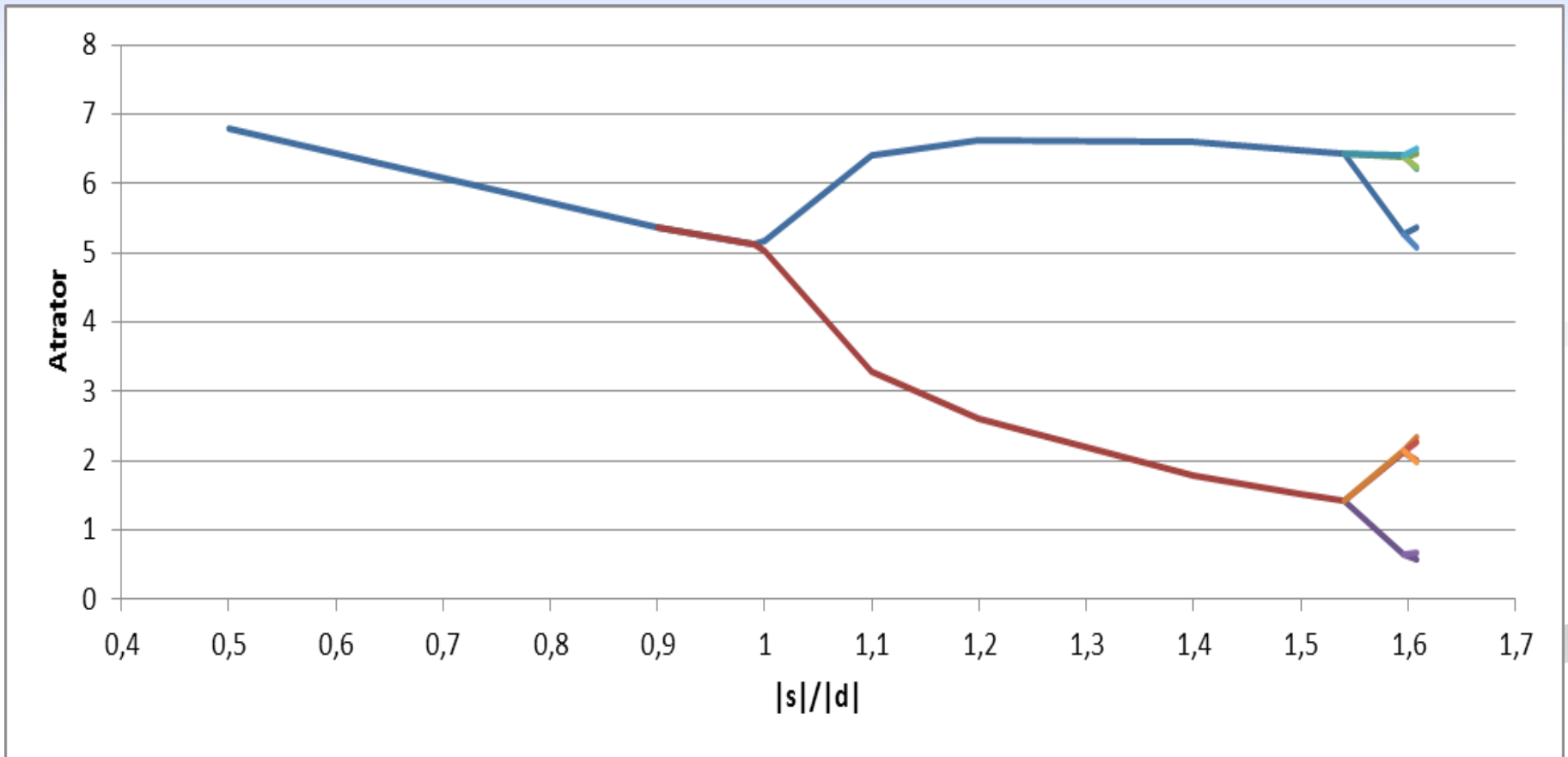
- Teorema da Teia de Aranha
  - ✓ Se  $|d| > |s| \Rightarrow$  tendência ao equilíbrio
  - ✓ Se  $|d| < |s| \Rightarrow$  tendência a se afastar do equilíbrio  
 $\Rightarrow$  Mercado não eficiente!
- Porém, os agricultores aprendem com a experiência...
- Teoria das Antecipações Adaptativas
  - $pa(t) = \text{teta} * pr(t-1) + (1 - \text{teta}) * pa(t-1)$
- Mas teta também deve mudar com a experiência do agricultor  $\Rightarrow$  possibilidade de comportamento caótico!
- Detectado empiricamente nos mercados de oleaginosas (soja inclusive!)



# Atrator de um mercado agrícola com comportamento caótico



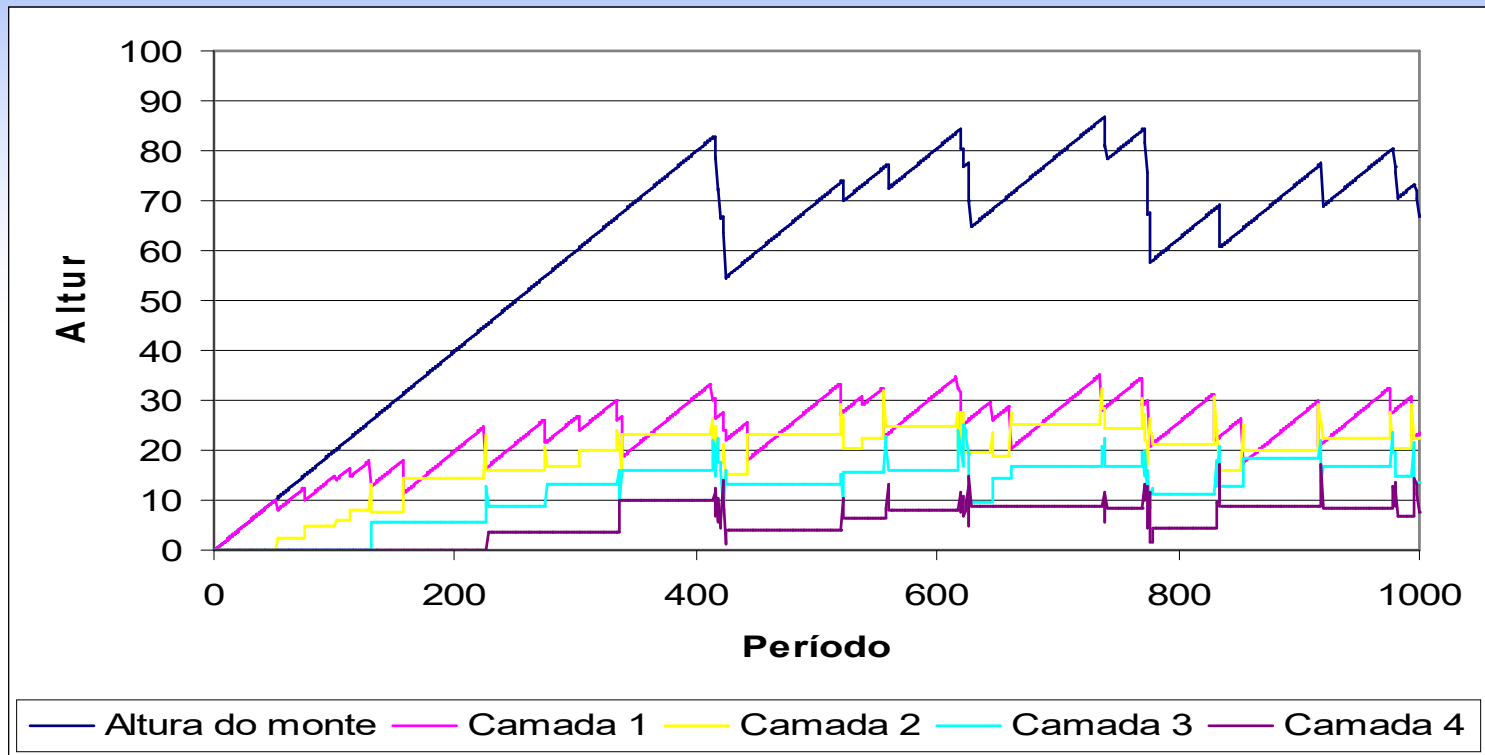
# Bifurcações de um mercado agrícola



# Criticalidade auto-organizada

- Acumulação de energia potencial, tendendo a um estado crítico.
- Perturbação que ultrapassa a capacidade de carga do sistema.
- Brusca liberação de energia.
- Sistema retoma uma trajetória de acumulação

# Criticalidade auto-organizada



Exemplos:

- 📁 Monte de areia (gráfico) - Evolução da agricultura (sistemas agrários!)
- 📁 “Ciclos” econômicos - Civilizações ?
- 📁 Variações de preços

# É possível compreender a complexidade?

- Ordem x complexidade:
  - Os estados podem ser imprevisíveis (irregulares)
  - Porém os processos que os originam são regulares, o que permite o discernimento de padrões de comportamento
    - atratores simples e complexos...
- ✓ Há uma ordem (oculta) na (aparente) desordem dos sistemas complexos.
  - ✓ Sistemas deterministas: relações de causa e efeito (porém complexas!)
- ✓ Os sistemas complexos são inteligíveis!

# Complexidade: consequências metodológicas sobre o enfoque sistêmico

- Importância das características globais
- Necessidade de considerar explicitamente a **incerteza forte** no enfoque sistêmico
- Tipo de inferência
  - Certeza: inferência dedutiva
  - Incerteza fraca: inferência indutiva
  - Incerteza forte: inferência abdutiva
- Fundamentos estatísticos?
  - Insuficiência da abordagem baseada em Probabilidade
  - Há outras abordagens???

# Aplicação do enfoque sistêmico por pesquisadores e técnicos

- Contribuir para explicitar as possibilidades de escolha da sociedade (as alternativas e suas conseqüências) e participar ativamente do processo de aprendizagem coletiva:
  - tornar inteligível a diversidade das práticas sociais
  - traduzir em termos científicos as questões levantadas pelos demais agentes sociais
  - “animar” o confronto de diagnósticos, sem desqualifica-los.
- ✓ *Para tanto é imprescindível efetuar um diagnóstico próprio da situação*

# Como fundamentar cientificamente este diagnóstico?

- Os paradigmas dominantes da ciência contemporânea constituem-se em um obstáculo à esta tarefa:
  - Positivismo nas ciências da natureza.
  - Hermenêutica pós-moderna nas ciências sociais (interpretação de textos baseadas em observações genéricas da realidade).
- *Fundamentos estatísticos?*
- *Fundamentos metodológicos?*