

EACH | campus capital
USP
ESTE

Escola de Artes, Ciências e Humanidades
Universidade de São Paulo

Escola de Artes, Ciências e Humanidades
Universidade de São Paulo

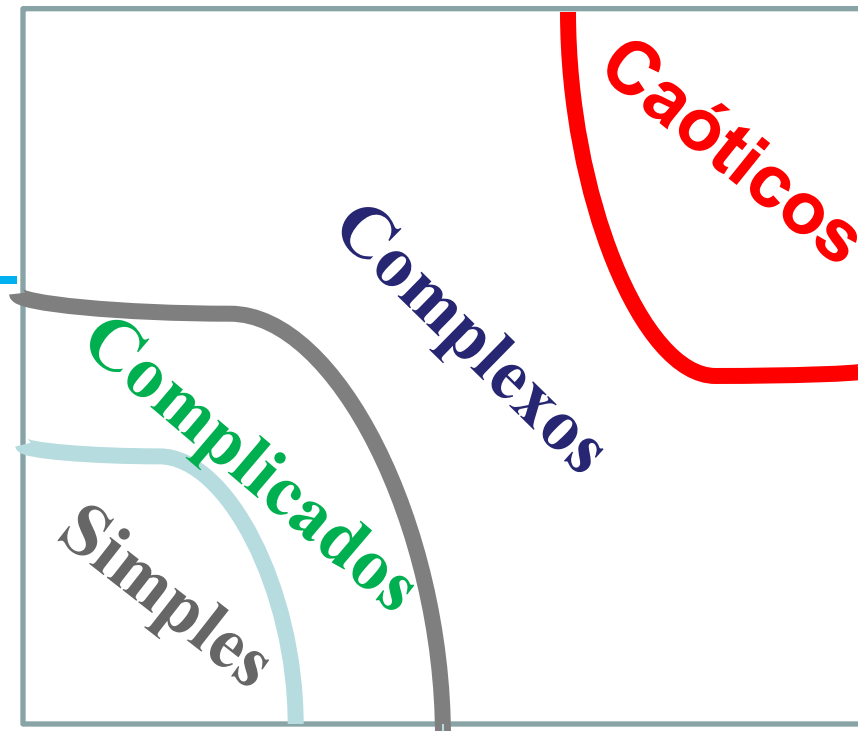
Sistemas Complexos Adaptativos **Auto-Organização e Emergência**

Fernando Fagundes Ferreira

Tipos de Sistemas

Predictable

Unpredictable



TIPOS DE SISTEMAS

● Sistemas Fechados e Abertos

● a) Um sistema é dito fechado se não interagir com o ambiente em que ele se encontra. Está em estado de isolamento. É completamente autocontido. Isto é apenas de interesse teórico, pois na realidade os sistemas exibem diferentes graus de abertura.

● b) Diz-se que um sistema está aberto quando interage com o ambiente no seu entorno . Ele troca energia, matéria ou informação com o ambiente. Essa interação regular com o ambiente dificulta o estudo de sistemas abertos. Pode-se dizer que um sistema é "aberto" em relação a algumas entidades e processos, mas pode exibir um comportamento "fechado" em relação a outras entidades e processos.

TIPOS DE SISTEMAS

Sistemas adaptativos e não adaptativos

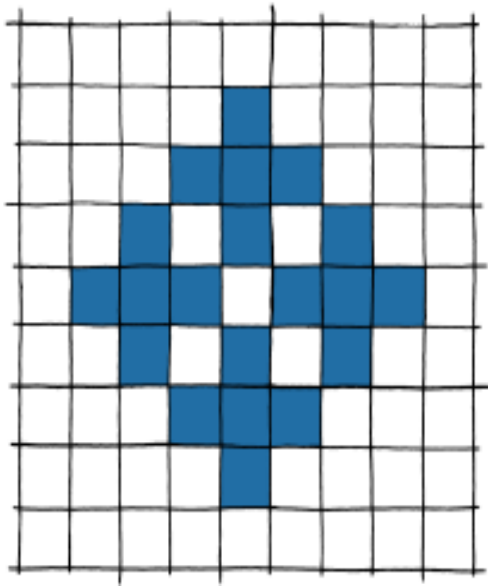
Diz-se que um sistema é adaptativo se ele se modifica com as mudanças em seu ambiente.

Um sistema democrático de governo é um exemplo de sistema adaptativo que muda para acomodar as mudanças no ambiente.

Um sistema não adaptativo não reage a mudanças em seu ambiente.

Um sistema autocrático de governança é um exemplo de sistema não adaptativo. Não muda nem se adapta às mudanças no ambiente.

complex
non-adaptive
system



we adapt the rules

complex
adaptive
system



the system adapts *itself*

A VISÃO SISTÊMICA

Na sua forma mais simples, sistema complexo adaptativo é uma maneira de pensar e analisar coisas, reconhecendo a complexidade, padrões e inter-relações em vez de se concentrar na causa e efeito.

A visão dos gestores e planejadores se baseavam na visão de equipes lineares com regras simples de causa e efeito. Ou seja, uma visão mecanicista de sistema. Ele era visto como uma máquina e bastava desmontar a máquina e entender os seus componentes, então entenderiam o todo. Também foi assumido que se cada parte fosse feito para funcionar melhor, então o todo também trabalhe melhor.

A VISÃO SISTÊMICA

Teoria da complexidade foca no estudo dos relacionamentos, padrões emergentes e das iterações.

universo está cheio de sistemas como sistemas climáticos, sistemas imunológicos e sistemas sociais, e que estes sistemas são exemplos de sistemas complexos adaptativos.

Estes sistemas são conjuntos de unidades interagentes que têm a capacidade de evoluir para se ajustar a um ambiente em mudança.

A VISÃO SISTÊMICA

Segundo John Holland, Sistema Complexo Adaptativo é uma rede dinâmica de agentes atuando em paralelo, constantemente reagindo ao que os outros agentes são fazendo, o que por sua vez influencia o comportamento e rede como um todo. O controle tende a ser disperso e descentralizada e o comportamento geral do sistema é o resultado de muitas decisões tomadas por agentes individuais.

Não é possível reverter a história do sistema e o futuro é muitas vezes imprevisível.

DIFERENTES DENOMINAÇÕES

Títulos como:

- sistemas adaptativos complexos,
 - ciência da complexidade,
 - teoria da complexidade e
 - sistemas complexos evolutivo

são freqüentemente usados de forma intercambiável.

COMPLEXIDADE

A complexidade resulta da inter-relação, interação e interconectividade de elementos dentro de uma sistema , bem como, entre um sistema e seu ambiente.

Murray Gell-Mann, em "Complexity" Vol. 1, n ° 5, 1995/96, traça o significado da palavra complexidade. **Plexo** significa trançado ou entrelaçado. **Complexo** significa trançado em conjunto, derivado do latim. A complexidade é, portanto, associada ao intrincado entrelaçamento ou interconectividade de elementos dentro de um sistema e entre um sistema e seu ambiente.

MEDIDAS DE COMPLEXIDADE

Existem diversas medidas de complexidade

:

- Complexidade de Lempel-Ziv
- Entropia
- Dimensão Fractal
- Complexidade Algorítmica
- Complexidade Computacional
- ...muitas outras

CARACTERÍSTICAS

- um grande número de elementos que interagem dinamicamente.
- qualquer elemento no sistema é afetado por e afeta vários outros elementos do sistemas.
- interações não lineares, então pequenas mudanças podem tem grandes efeitos.
- abertura, por isso pode ser difícil definir os limites do sistema,
- um fluxo constante de energia para manter o organização do sistema
- uma história em que o passado ajuda a moldar o presente
- elementos no sistema não estão cientes da comportamento do sistema como um todo e respondem apenas para o que está disponível ou conhecido localmente.

REPRESENTAÇÃO

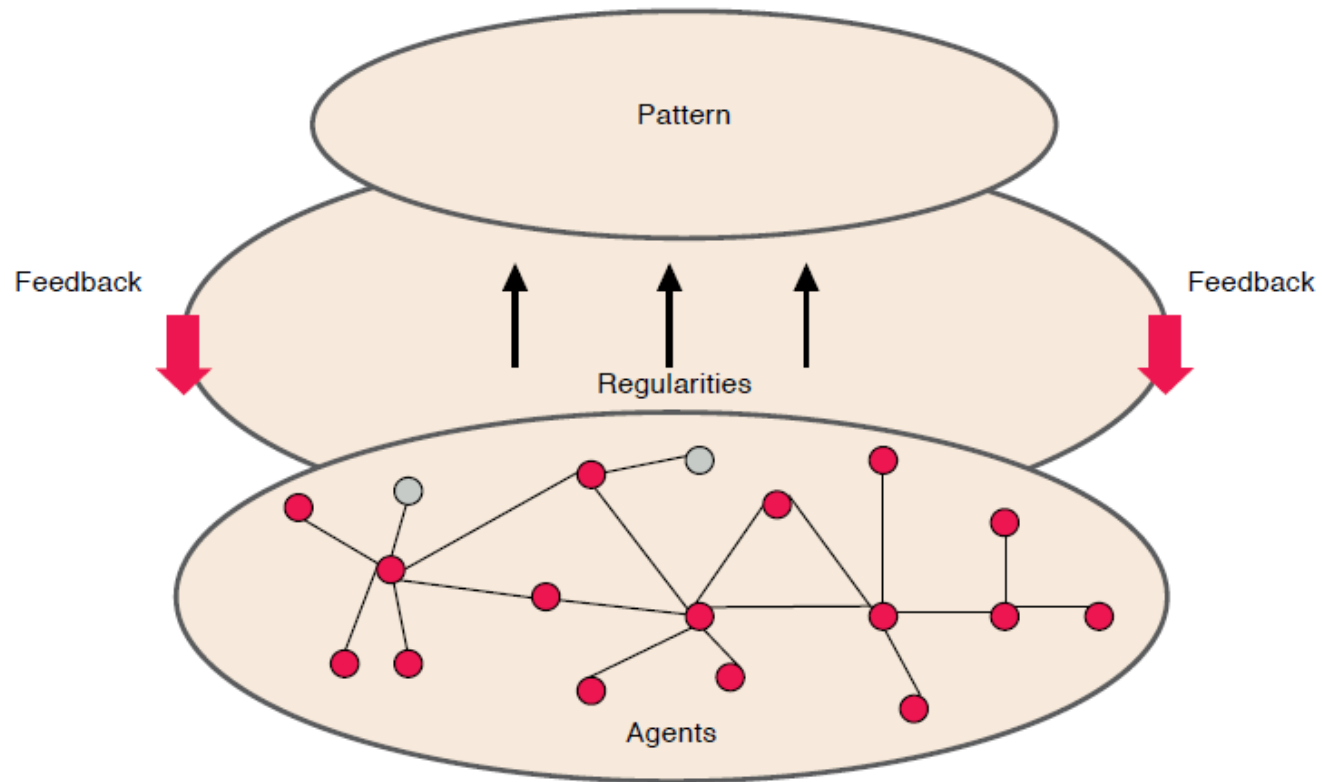


Figure 1: simple representation of the components of a complex adaptive system¹⁰

Borda do Caos

O pensamento complexo de sistemas adaptativos não é exatamente o mesmo que a teoria do caos, que é derivada de matemática, embora haja algumas sobreposições.

Os sistemas variam do equilíbrio ao caos. Sistema que não são capazes de responder às ao ambiente deixará de existir. Assim, um sistema em caos deixa de funcionar como sistema.

A abordagem complexa adaptativa sugere que o estado mais produtivo de um sistema é a "borda do caos", onde há a máxima variedade e criatividade.

Com base nessas propriedades, pode-se argumentar que sistemas adaptativos complexos estão ao nosso redor, ou que Somos parte de múltiplos sistemas adaptativos complexos.

Princípios como auto-organização e emergência são

Padrões

Qualquer arranjo organizado ou formação coerente que ocorre no espaço ou no tempo

Trilho de formigas, bando de pássaros, cardumes de peixes
o piscar sincronizado dos vagalumes, pigmentos de conchas,
bicha de automóveis, a hola nos estádios, uma casa, um relógio



Auto-organização

A auto-organização refere-se a uma extensa gama de **processos de formação de padrões espaço-temporais** no mundo físico (dunas), químico (reagentes químicos a formar espirais) e biológico (cardumes de peixes), social (mercados), computação (internet), engenharia (cidades), etc...

SAO- sistemas auto-organizados

“Auto” = autonomia dos agentes e ausência de comando central.

A "organização" está relacionada a um aumento na estruturação dos componentes do sistema ou no aumento do nível de coordenação das ações (decisões) dos indivíduos.

A auto-organização refere-se ao processo que gera aumento no nível de organização, ou do arranjo de uma parte do sistema que pode promover uma função específica, sem presença de um controle ou manipulação externa ou central.

Como SAO adquirem estrutura e ordem?

- Primeiro, temos que considerar que estes sistemas são abertos. Isto significa que há troca de energia, matéria e informação com o meio.
- Nos sistemas auto-organizados, a formação de padrões ocorre através de **interações internas dos elementos** do sistema.
- Acoplamentos ligam os agentes: imagine um conjunto de osciladores caóticos acoplados.

SAO- sistemas auto-organizados

Curiosamente, um resultado bem estabelecido da termodinâmica é que um sistema que evolui por si só tende a aumentar o grau de desordem interna.

Não deixa se ser intrigante encontrar no universo tantas estruturas auto-organizadas.

Sistema fora do equilíbrio e aberto.

Auto-organização: adaptabilidade e robustez

O sistema é muitas vezes perturbado ou o meio em que se encontra sofre mudanças. Por isso ele precisa se adaptar para continuar exercendo sua função. Esta capacidade de adaptação confere robustez.

Esta adaptabilidade implica na necessidade do sistema ser flexível. Por isso existe variabilidade interna nos seus constituintes ou no tipo de interação que favorece a diversidade de comportamentos (múltiplos atratores).

Tipos de interação

O efeito bola de neve do feedback positivo tem o poder de amplificar ou reforçar comportamentos em uma determinada direção preferencial. É um mecanismo desestabilizador

Exemplos: “coçar”, explosão demográfica, crescimento das cidades , desertificação dos campos,...

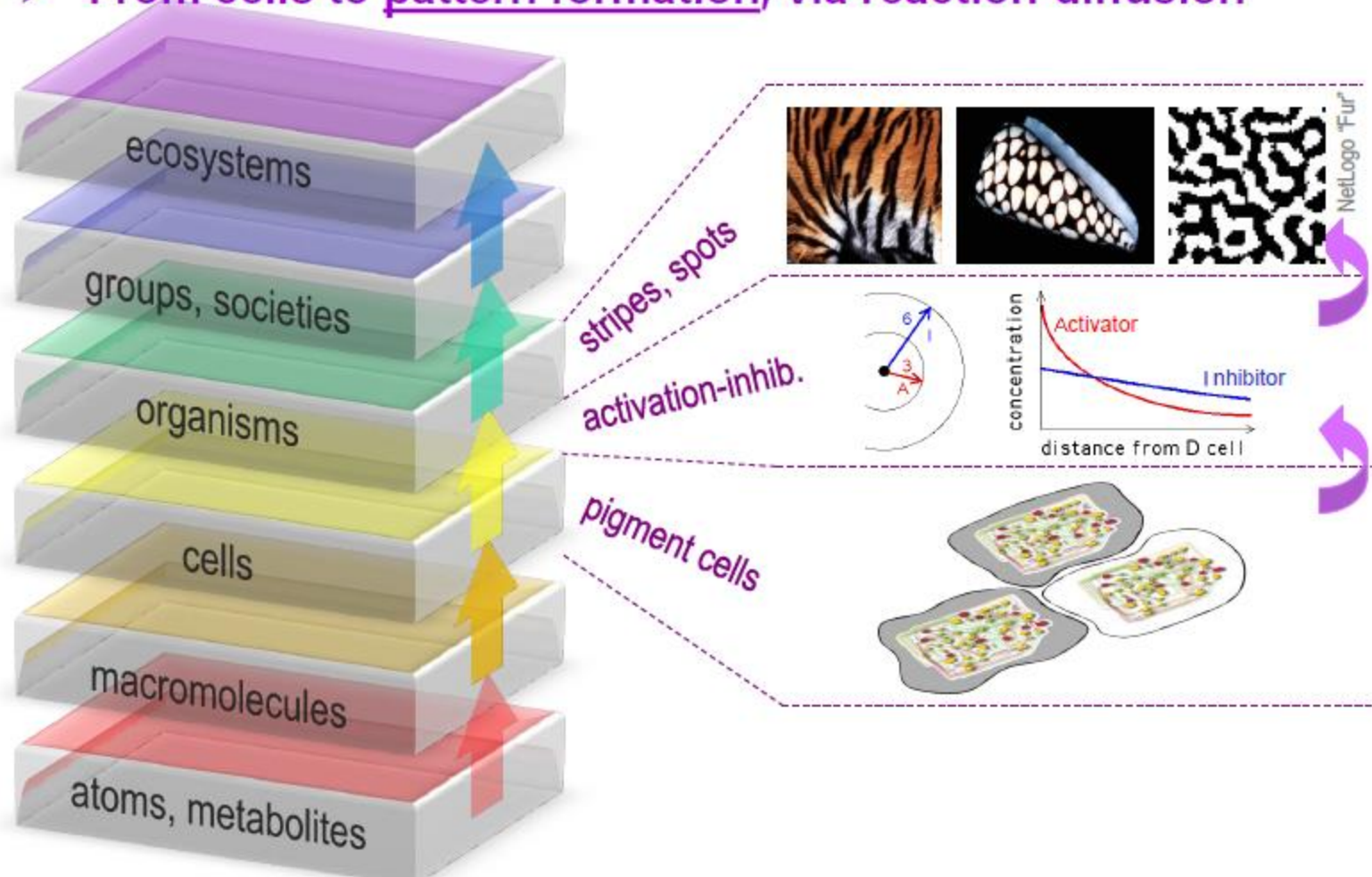
Feedback negativo: É um mecanismo para estabilizar processos e evitar flutuações indesejáveis.

Exemplos: Regulação da temperatura do corpo; Regulação de níveis de glicose no sangue.

Nos sistemas complexos os feedbacks positivos e negativos trabalham juntos para gerar organização.

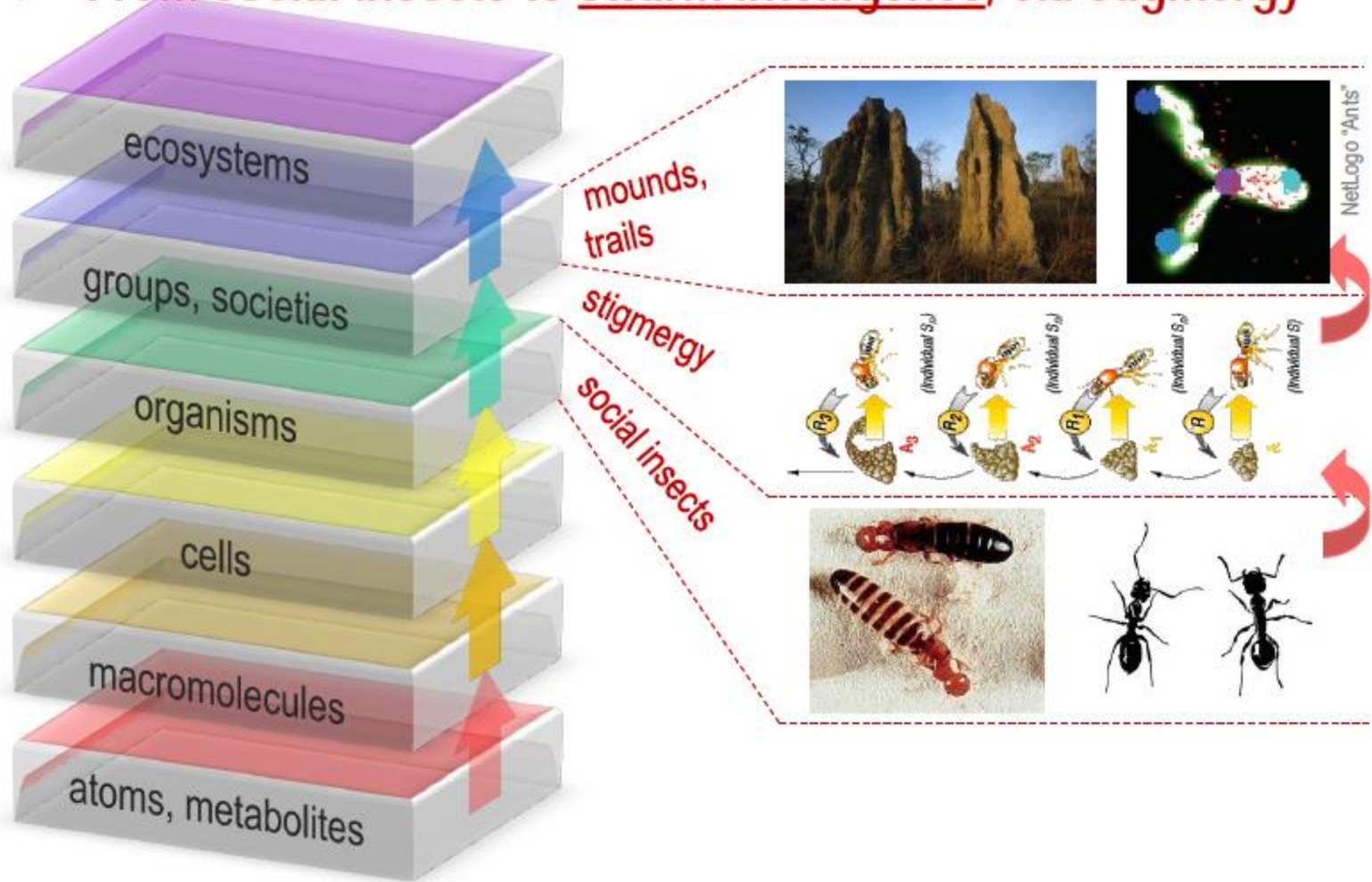
Auto-organização: Exemplos

➤ From cells to pattern formation, via reaction-diffusion



Auto-organização: Exemplos

➤ From social insects to swarm intelligence, via stigmergy



Exigências duras para a liderança e comando centralizado

- Exige capacidades cognitivas muito sofisticadas para o planejador central.
- Tem de conhecer o padrão desejado, tem de ter uma visão de conjunto da estrutura em formação e tem de comunicar instruções a todos os elementos.
- Problemático especialmente se o grupo for grande e a estrutura muito maior do que qualquer membro do grupo: o ninho dos cupins possui 500000 elementos e o ninho é 10 milhões de vezes maior do que qualquer dos construtores.
- Problemático se o padrão for modificado ao longo de gerações

Vantagens da Auto-Organização

As regras dos sistemas auto-organizados podem ser bastante simples em termos da maquinaria fisiológica e comportamental necessária para as implementar

The Seven Levels of Authority



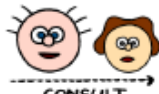
TELL

1. Tell: make decision as the manager



SELL

2. Sell: convince people about decision



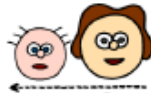
CONSULT

3. Consult: get input from team before decision



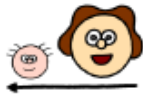
AGREE

4. Agree: make decision together with team



ADVISE

5. Advise: influence decision made by the team



INQUIRE

6. Inquire: ask feedback after decision by team



DELEGATE

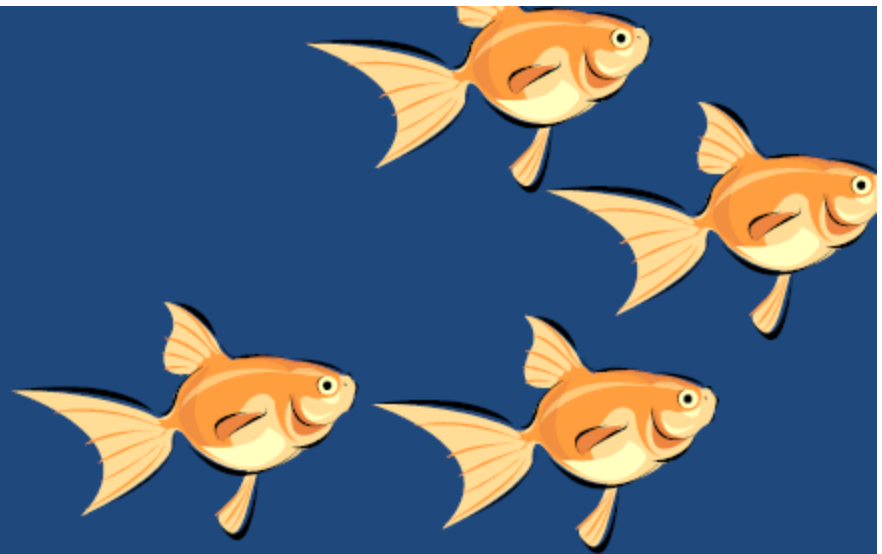
7. Delegate: no influence, let team work it out

1st responsibility of a team leader

Develop the self-organizing system
with **constraints**, not rules

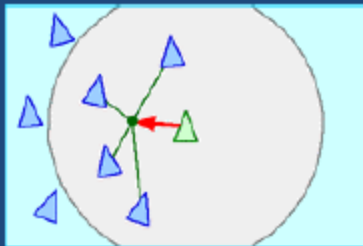


DEVELOPING

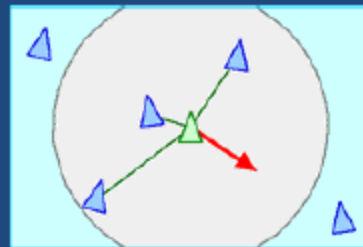


Craig Reynolds propôs:

1. Voe ou nade rumo ao centro de massa dos vizinhos
2. Mantenha distância dos outros pares
3. Mantenha velocidade próxima dos seus vizinhos



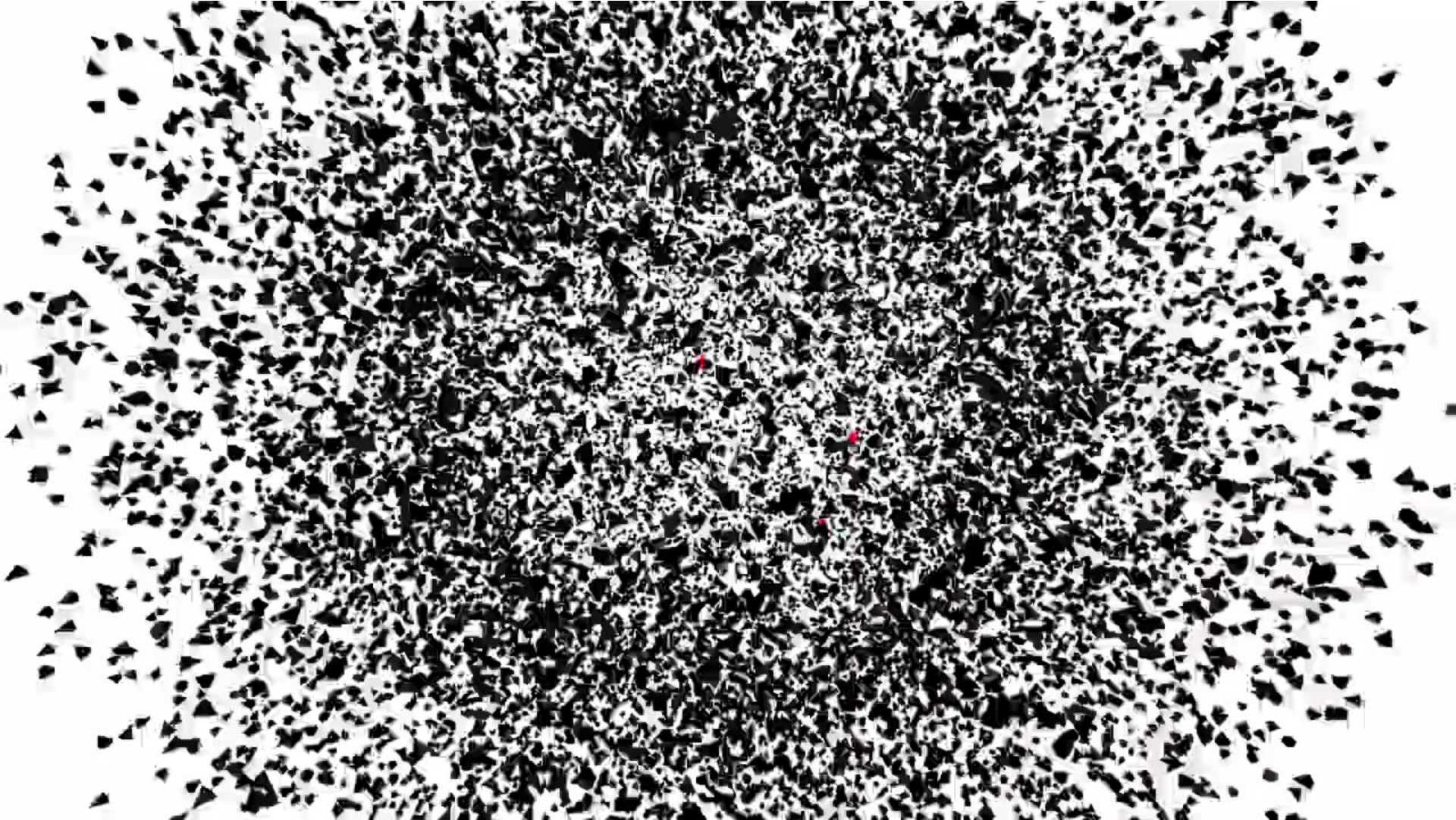
1. cohesion



2. separation



3. alignment



Emergência

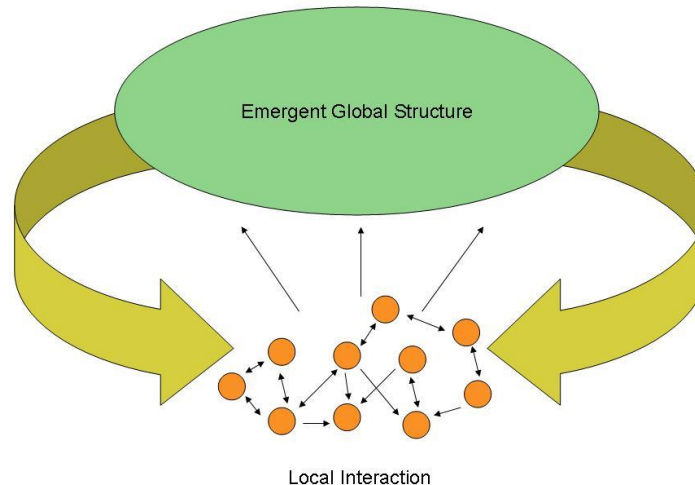
O que é um Fenômeno **EMERGENTE**?

Um fenômeno é dito ser emergente se ele é evento ou comportamento inesperado de um sistemas formado por muitos elementos interagentes que coletivamente o exibe. Tomado cada elemento separadamente, a propriedade não está presente. Assim, somos levados a pensar que este comportamento emergiu do coletivo.

EMERGÊNCIA

A propriedade de um sistema é emergente, se ela não for uma propriedade de qualquer elemento fundamental.

A emergência é o aparecimento de propriedades ou estruturas emergentes em um nível mais elevado de organização ou complexidade em relação a seus constituintes.



Emergência e auto-organização

Emergência diz que o todo é maior do que a soma das partes e o todo exhibe padrões e estruturas que surgem espontaneamente do comportamento das partes.

A auto-organização é um processo no qual a organização de um sistema aumenta espontaneamente, ou seja, sem que esse aumento seja controlado pelo ambiente ou por algo externo.

Emergência e auto-organização são conceitos diferentes. Em sistemas complexos, as propriedades emergentes surgem através de interações locais que também são responsáveis pela auto-organização.

EMERGÊNCIA E SISTEMAS COMPLEXOS

O conhecimento dos diferentes tipos de emergência ilumina o entendimento dos sistemas complexos como ciência.

Questões: emergência pode ser redutível às propriedades dos elementos constituintes?

Ela pode ser predita a partir de informações microscópicas?

Iremos fazer um estudo da classificação dos tipos de emergência segundo o Trabalho de Jochen Fromm.

<https://arxiv.org/abs/nlin/0506028>

. **Tipos de Emergência**

Tipo I Emergência Simples (sem feedback top-down)

Tipo Ia Emergência Intencional

Tipo Ib Emergência não Intencional

Tipo II Emergência Fraca (inclui feedback top-down)

Tipo IIa Emergência fraca estável

Tipo IIb Emergência fraca instável

Tipo III Emergência Múltipla (top-down and bottom-up)

Tipo IIIa. Múltiplos feedbacks

Tipo IIIb. Emergência Adaptativa

Tipo IV Emergência Forte

Tipo 1a. Emergência Intencional

- A função de uma máquina é uma propriedade emergente dos seus componentes
- A função de um sistema de software é uma propriedade emergente do código subjacente
- A informação semântica de uma sentença é uma propriedade emergente dos sons e palavras na frase que depende de como elas são organizadas

Tipo 1a não forma um sistema complexo

Tipo 1b. Emergência Não Intencional

- Aparece em sistemas fracamente acoplados, desordenados ou com elementos iguais (no sentido de unidades idênticas) que possui certas propriedades médias e não se aplica a unidade.
- Uma quantidade média por si só não é uma característica emergente, como o salário médio de uma categoria.
- A pressão é um conceito que se deve a um conjunto de elementos. O mesmo se aplica a um grão de areia e a forma que uma pilha de areia desenha coletivamente.

Exemplos: Tipo 1b. Emergência Não Intencional

- Propriedades termodinâmicas, como pressão, volume, temperatura.
- Padrões em redes complexas como comprimento do menor caminho e coeficientes de agrupamento em redes.
- Propriedades físicas emergentes como uma avalanche, uma de frente de onda ou uma inclinação de uma pilha de areia.

Tipo II. Emergência Fraca

Pode ocorrer juntamente com um feedback de cima para baixo, onde o nível macroscópico influencia o nível microscópico.

As interações no nível microscópicos geram padrões ou estruturas imprevisíveis que aparecem no nível macro. Será emergente se não estiver especificado nas leis de interação no nível micro. Mais ainda, o padrão formado no nível macro pode influenciar as decisões (ou regras de interações) no nível micro por meio algum processo de realimentação (feedback)

Exemplos: Tipo II. Emergência Fraca

Um bando de pássaros ou um cardume de peixes, por exemplo, é uma propriedade emergente que influencia os movimentos de cada um dos animais participantes. Isto pode ser explicado e descrito pela emergência do tipo II, que é também conhecida como emergência fraca.

M.A. Bedau definiu emergência fraca como segue: o estado ou propriedades macroscópicos são fracamente emergente se forem derivados a partir da dinâmica microscópica, por simulação [Bedau 97]. É previsível, em princípio, mas não em todos detalhes

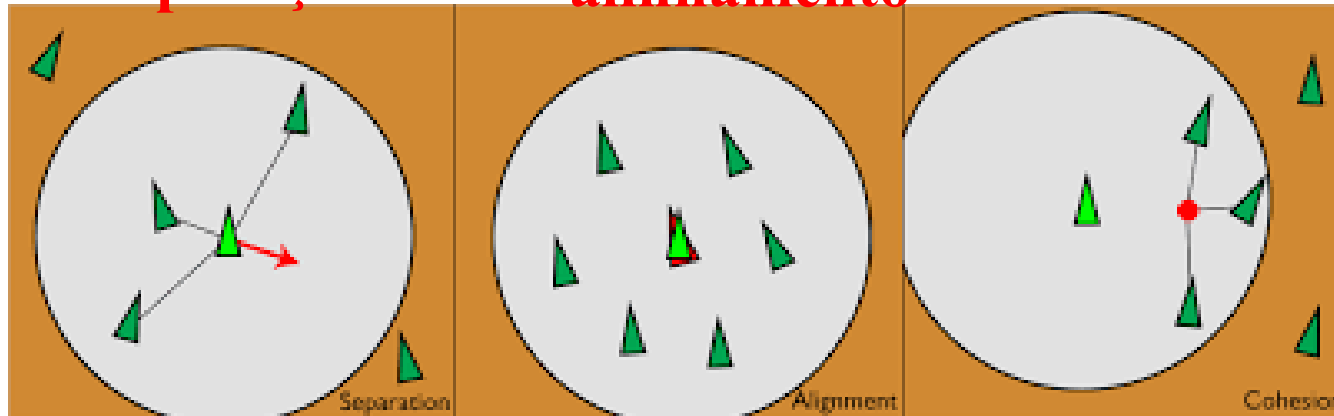
Exemplos: Tipo II. Emergência Fraca



separação

alinhamento

coesão



<http://www.youtube.com/watch?v=hWcOTLtnm0Y>

Tipo II. Emergência Fraca

As dificuldades na previsão e derivação de propriedades fracamente emergentes surgem da ação do processo de feedback de cima para baixo, que é entre os filósofos conhecidos como 'Causação descendente' [Bedau02]. Na emergência fraca, não há uma direção única de causalidade do microscópico para o nível macroscópico como na emergência intencional. Existem relações causais em ambas as direções.

Tipo II. Emergência Fraca (via feedback)

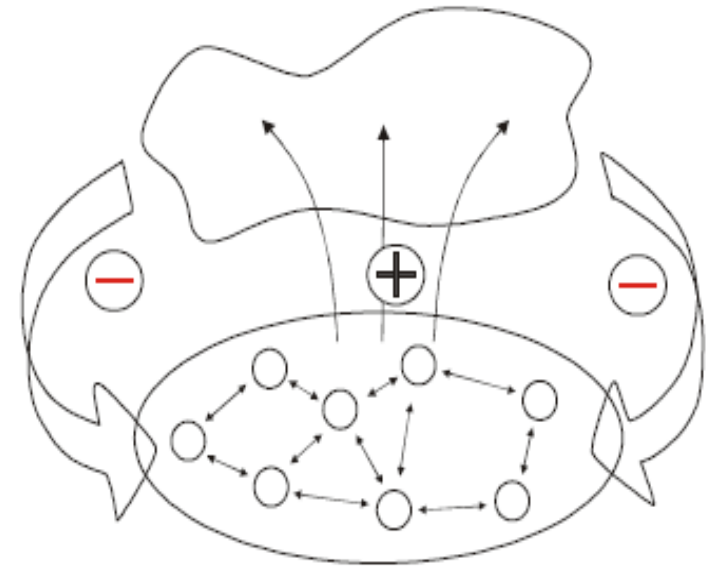
Existem dois tipos de emergência fraca em função do tipo de feedback em ação:

- Feedback negativo ou amortecido que leva a uma forma estável de emergência fraca
- Feedback Positivo ou amplificado que leva a formas instáveis como bolhas, boatos, modismos

Exemplos do Tipo II. Emergência Fraca Estável

Em formas estáveis de emergência fraca existe um equilíbrio entre exploração (sentido positivo-aprender), diversidade e aleatoriedade (através influências bottom-up), por um lado e exploração (sentido negativo-usar), unidade e ordem (Através de restrições de cima para baixo) por outro.

A emergência tipo IIa baseia-se em dois níveis os quais são ligados por um processo bottom-up e um processo complementar top-down.



Exemplos do Tipo II. Emergência Fraca Estável

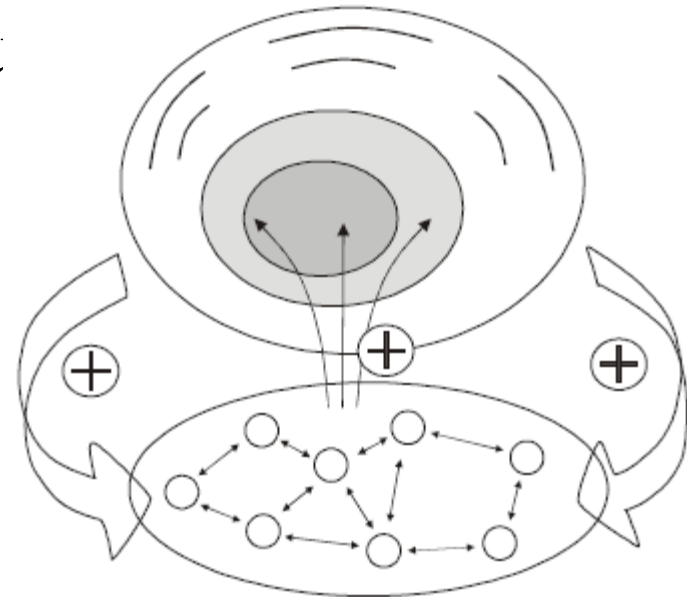
- Comportamento de forrageio de colônias de formigas.
- Comportamento coletivo dos peixes e aves.
- Líquido ou fluido é uma propriedade emergente de moléculas.
- Formas de auto-organização na Internet:
World Wide Web (WWW) e Wikipédia, projetos Open-Source como Linux e Mozilla.
- Mercados livres, de acordo com a lei da oferta e da procura.

Tipo II. Emergência Fraca Instável

Realimentação pode também ser positiva. A dependência de drogas ou a inflação econômica são exemplos (negativos) para feedback positivo:

A imitação é um dos fatores primários que influenciam a criação de modas, ciclos de moda e mudança abrupta da opinião coletiva [Richard Bouchaud]

O coletivo pode cair em um processo de feedbacks positivos, loops e reforço mútuo que geram instabilidades no futuro.



Exemplos do Tipo II. Emergência Fraca Instável

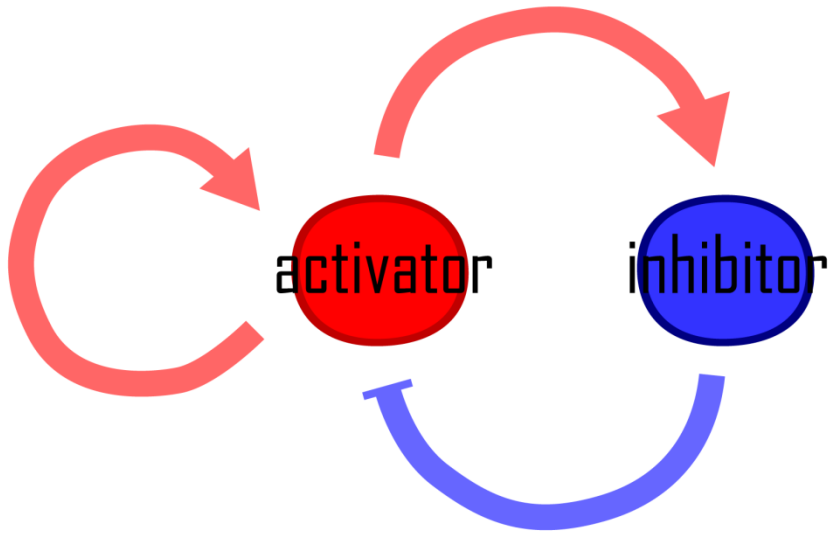
- Bolhas e crashes nos mercados de ações
- Súbitas explosões de agitação social (primavera árabe)
- Mudanças nas normas sociais anteriormente estáveis
- Efeito bandwagon
- Efeito celebridade
- Marketing viral
- Formação de cluster social e econômico devido a migrações (guetos, favelas)
- Evolução dependente do caminho (path dependence) gerando um estado de aprisionamento tecnológico (lock-in state): Mercado VCR / teclado PC / OS

Tipo IIIa. Emergência Multipla com vários feedbacks

Muitos padrões ou comportamentos produzidos por sistemas complexos são muitas vezes combinações de emergência tipo IIa e tipo IIb. Este tipo de emergência acopla mecanismos de ativação de curto alcance (realimentação positiva) com inibição de longo alcance (realimentação negativa).

Sistemas com short-range positive-feedback e long-range negative feedback são conhecidos como sistemas ativação-inibição e podem ser estudados com abordagens baseadas em equações de reação-difusão.

Tipo IIIa. Emergência Multipla com vários feedbacks



Tipo IIIa. Emergência Multipla com vários feedbacks

Mercado financeiro real exhibe frequentemente um comportamento “caótico” e imprevisível, produzindo estruturas fractais e multifractais, com sequências sucessivas de perdas e crashes, mas também repetidas bolhas especulativas de todos os tamanhos. O mercado financeiro tem realimentações tanto positivas quanto negativas. As séries históricas mostram comportamento que misturam padrões oscilatórios e “caóticos”

Tipo IIIb. Emergência Adaptativa com vários feedbacks

- A heterogeneidade dos agentes introduz variabilidade no sistema. Como o meio ambiente muda, ocorre um processo de seleção. O sistema pode, eventualmente ser marcado por mudanças bruscas instáveis e saltos em sua complexidade. Os diferentes níveis de complexidade e organização nas formas de vida estão associados com transições evolutivas [SmithSzathmáry97].

Tipo IIIb. Emergência adaptativa e vários feedbacks

A emergência Tipo IIIb também é responsável pelas revoluções científicas e mentais repentinas.

- Ela é precedida por uma barreira mental devido a crença ou defesa das teorias vigentes.
- A divergência ou lacuna do paradigma com os dados geram conflitos na comunidade.
- Isso provoca insights, novas visões que favorecem uma avalanche de atividades neurais. Quando o obstáculo é superado, surgem oportunidades para as ditas revoluções científicas, como as propostas por Thomas Kuhn

Tipo IV. Emergência Forte

A emergência forte pode ser definida como o aparecimento de estruturas emergentes em níveis mais elevados de organização ou complexidade. Ela é muitas vezes relacionada com grandes saltos em complexidade e grandes transições evolutivas, que pode ser caracterizada pelo aparecimento de novos genes replicadores e formas completamente novas de evolução (biológicos, culturais, ...)

- A vida é uma propriedade emergente forte de genes, código genético, ácidos nucleico e aminoácidos.
- A cultura em geral é uma propriedade emergente forte de memes, linguagem e escrita.

Tipo IV. Emergência Forte: origem da vida

A emergência da vida é ainda pouco compreendida, mas alguns elementos chaves estão identificados:

- Replicadores Genéticos (RNA , DNA).
- Genes: pedaço de molécula de DNA com informação para determinada característica do indivíduo.
- Proteínas.
- Uma proteína tem cerca de 60 a 100 aminoácidos que podem ser arranjos de $20^n \sim 10^{120}$.

Tipo IV. Emergência Forte: Linguagem e Cultura

Na emergência da cultura ,
a linguagem é a unidade fundamental

- Letras (26 caracteres)
- Palavras – existe um número tremendamente grande de possíveis palavras . Imagine que cada palavras contém em média 7 letras, assim, podem existir 26^7 palavras
- Sentenças: Imagine que cada sentença contém em média 7 palavras, assim, podem existir 26^{49} sentenças

Tipo IV. Emergência Forte: Linguagem e Cultura

- Fruto da emergência da *consciência cognitiva (linguagem)*
- Memes: é uma unidade de informação que pode se propagar, como ideias, sons, desenhos, capacidades, valores morais. Ele é considerado uma unidade de evolução cultural e é o análogo do gene.
- Evolução da Cultura: pode ser passada pelos pais, pela coletividade ou invasores pela frequência de exposição
- Genes e memes são replicadores universais.
- Explosão combinatorial de possibilidades!

Conclusão

O Tipo I não contém feedbacks top-down. Pode ser intencional ou não intencional. É preditível

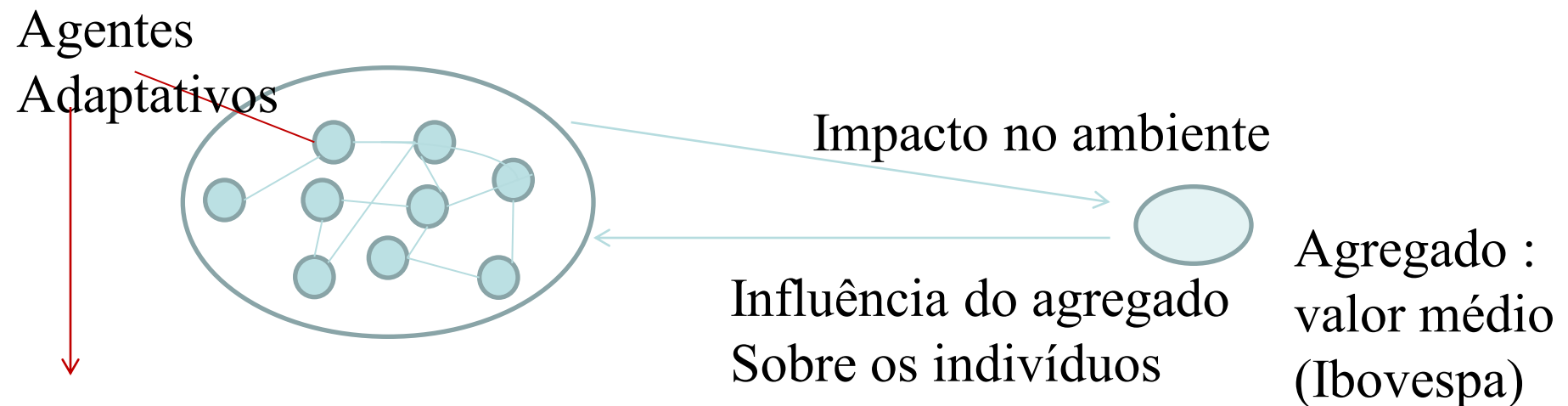
O Tipo II possui feedback simples tanto positivo (a) quanto negativo (b). Pode ser qualitativamente preditível, mas não de forma detalhada (qualitativo- no nível dos padrões).

O Tipo III tem múltiplos feedbacks , aprendizado e adaptação. Aparece em muitos sistemas complexos com agentes inteligentes. Não sabemos ainda como prever o comportamento coletivo.

O Tipo IV é caracterizado pela emergência multinível. Ela é responsável pelas estruturas nos níveis mais alto de complexidade que não podem ser reduzidos, mesmo em principio, aos efeitos diretos das leis de seus componentes elementares.

Sistemas Complexos

- ❑ Sistemas feitos com muitos agentes (Large Systems)
- ❑ Agentes interagem entre si que aprendem ou adaptam
- ❑ Apresentam não linearidade (feedbacks)
- ❑ Exibem propriedades emergentes
- ❑ Auto-organização (não possuem controle central)



Agentes Competem entre si
Podem adaptar

Definição?

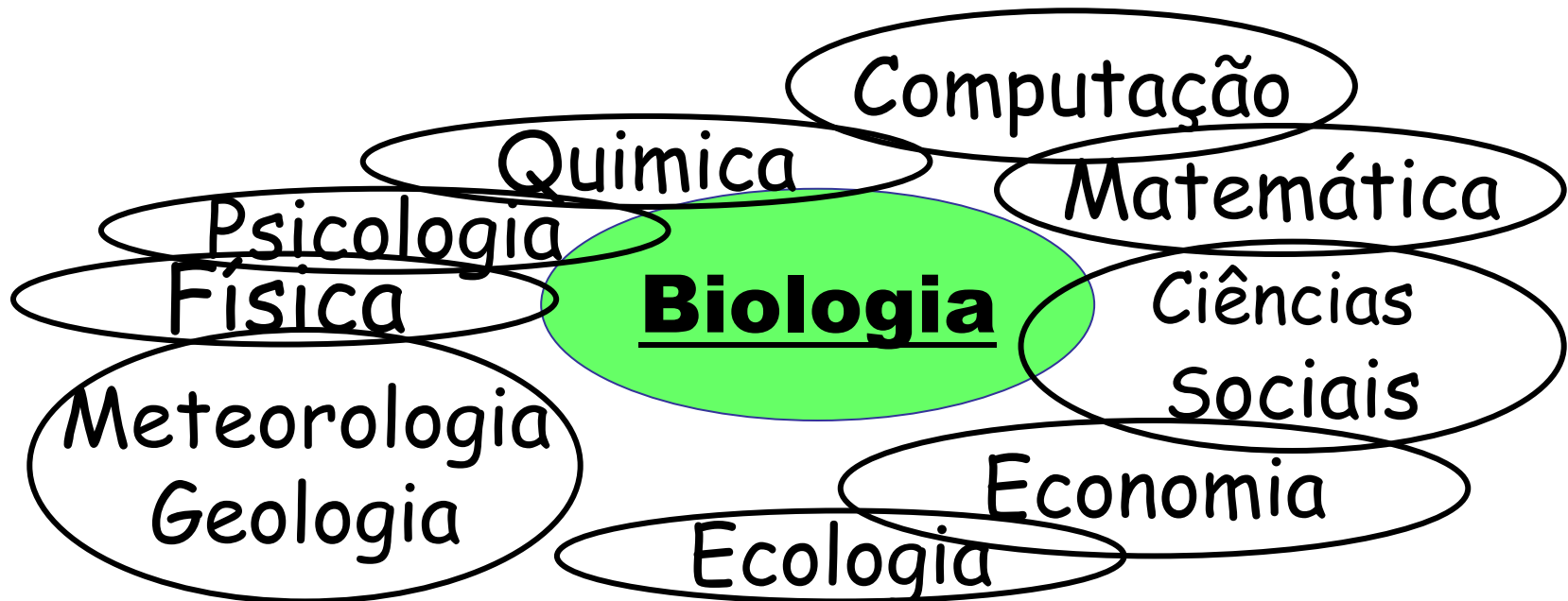
Não existe uma definição do que é um sistema complexo.

Costumamos dizer que um sistemas complexo é um sistema de muitos componentes conectados por redes grandes que interagem sem a mediação de um controle central. Os agentes operam regras simples que dão origem a um comportamento complexo por meio de um sofisticado processamento de informação e adaptação via aprendizado ou evolução. É um sistema multiagente que exhibe comportamento que é emergente e possui estruturas que resultam da auto-organização.



Surpreendente Convergência de Disciplinas

A Modelagem de Sistemas Complexos permite **desenvolver uma linguagem comum da interface entre Física, Computação, Ciências Biológicas e Sociais** sendo capaz de promover a exploração direta destas novas técnicas e analogias. **Sistemas complexos: uma abordagem interdisciplinar**



Teoria de Jogos

Comportamento

Formação de Padrões Coletivo

Teoria de Sistemas

Emergência (over scale)

Teoria de Redes **Teoria de Sistemas**

Complexos Evolução e Adaptação

Teoria do Caos *Auto-organização (over time)*

Sistemas Dinâmicos Não-linear

Teoria de Sistemas Auto Organizados

Referências

Fromm, Jochen. "Types and forms of emergence."
arXiv preprint nlin/0506028 (2005).

NEWMAN, Mark EJ. Complex systems: A survey. **arXiv preprint arXiv:1112.1440**, 2011.

Boccaro, N. (2010). *Modeling complex systems*. Springer Science & Business Media.

Chan, S. (2001, October). Complex adaptive systems. In *ESD. 83 research seminar in engineering systems* (Vol. 31, pp. 1-9).

Monteiro, L. H. A. (2010). *Sistemas dinâmicos complexos*. Livraria da Física, São Paulo.

Tisue, S., & Wilensky, U. (2004, May). Netlogo: A simple environment for modeling complexity. In *International conference on complex systems* (Vol. 21, pp. 16-21).

Bibliografia-livros

ORIGINS OF VIRTUE, THE

Autor: [RIDLEY, MATT](#)

Editora: [PENGUIN](#)

=

As Leis do Caos

Ilya Prigogine

Tradução: Roberto Leal Ferreira

Ed. Unesp (Tel. 0/xx/11/3242-7171)

Monteiro, L. H. A. (2010).

Sistemas dinâmicos

complexos. *Livraria da Física, São Paulo.*

Seis Graus de Separação (Six Degrees)

Autor: Watts, Duncan J.

Editora: Leopardo Editora

Linked - A Nova Ciência dos Networks

Autor: Barabasi, Albert-Laszlo;

Editora: Leopardo Editora

QUARK E O JAGUAR, O

AS AVENTURAS NO SIMPLES E NO COMPLEXO

Formato: Livro

Autor: [GELL-MANN, MURRAY](#)

Idioma: PORTUGUES

Editora: [ROCCO](#)