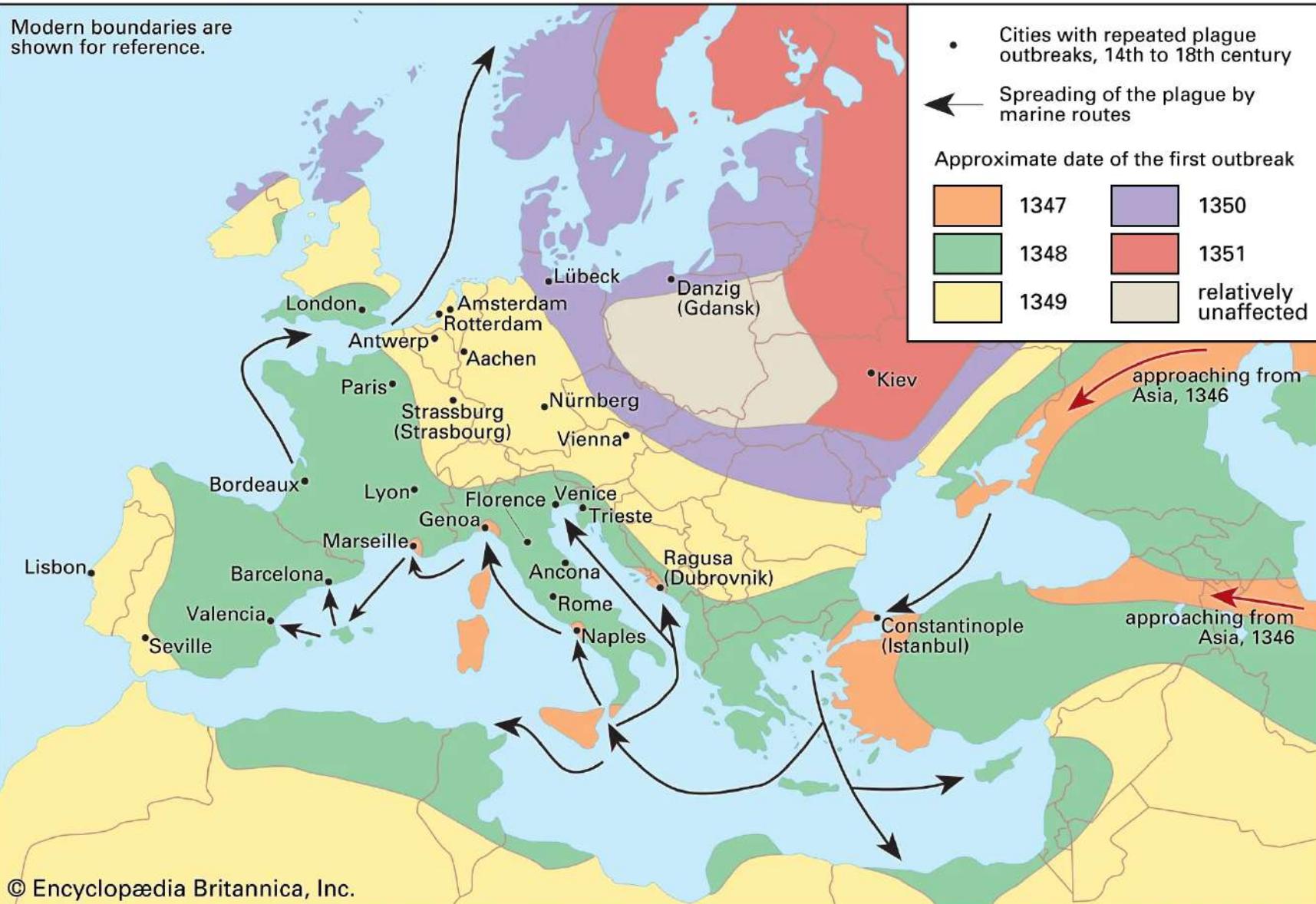


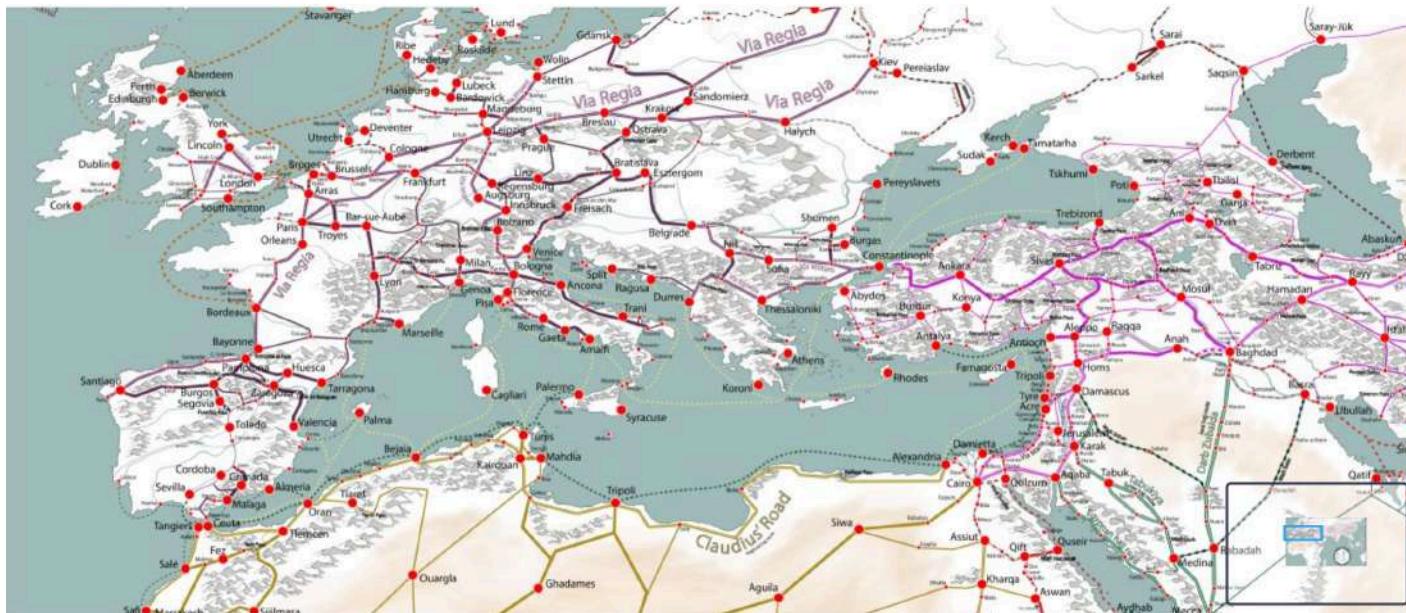


SECOND PANDEMIC OF THE BLACK DEATH IN EUROPE (1347–51)

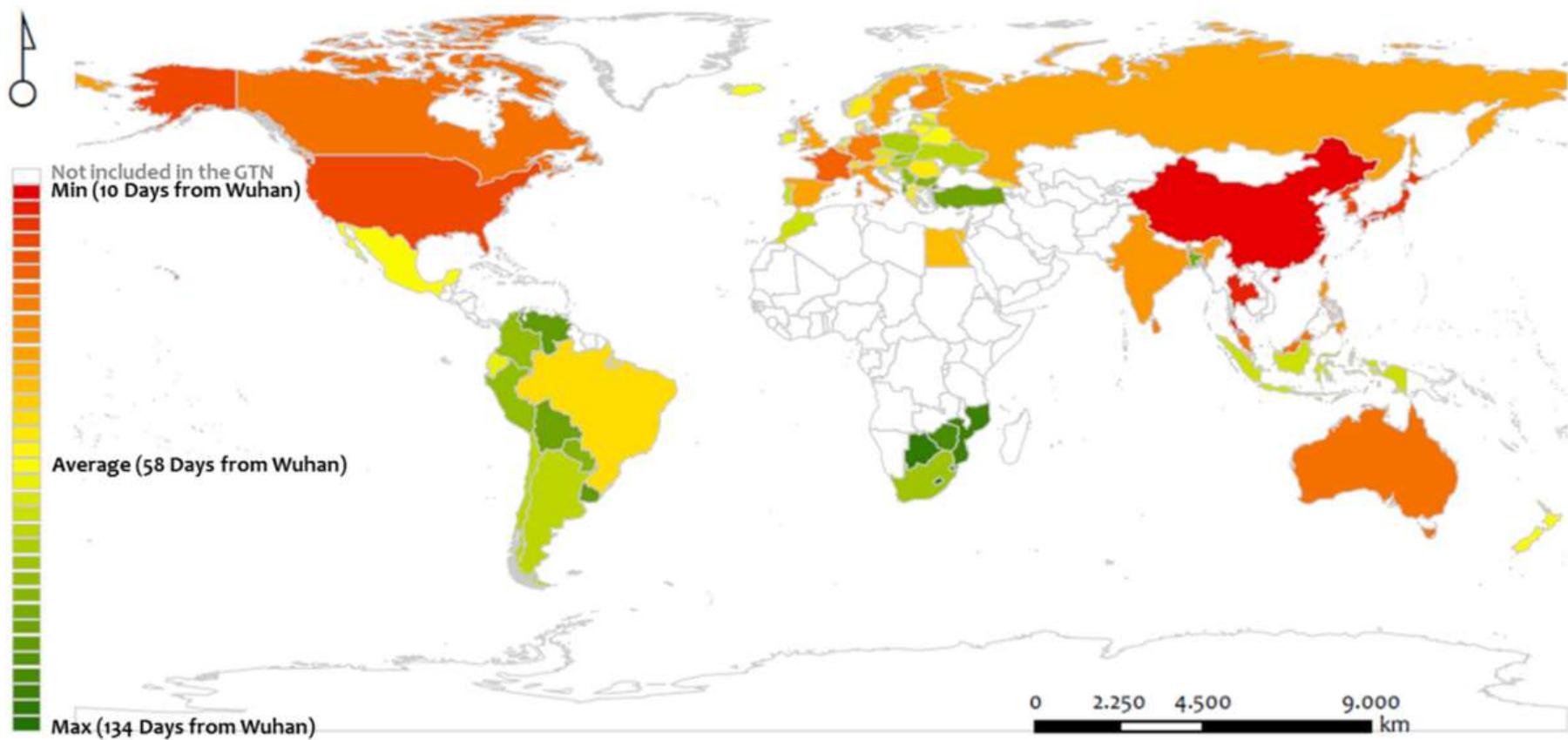
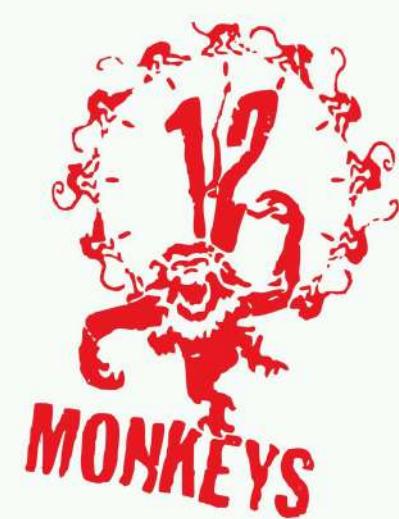
Modern boundaries are shown for reference.



As rotas medievais



Covid-19



As rotas de hoje



Aula 3: Dinâmica

- Dinâmica (em redes) : uma introdução
- Dinâmica da rede
- Dinâmica na rede
- Redes adaptativas
- Resumo

Aula 3: Dinâmica

- **Dinâmica (em redes) : uma introdução**
- Dinâmica da rede
- Dinâmica na rede
- Redes adaptativas
- Resumo

Formas de estudar a dinâmica

- **Manipulação experimental**
- "Experimentos naturais"
- Evidência observacional
- Modelos matemáticos

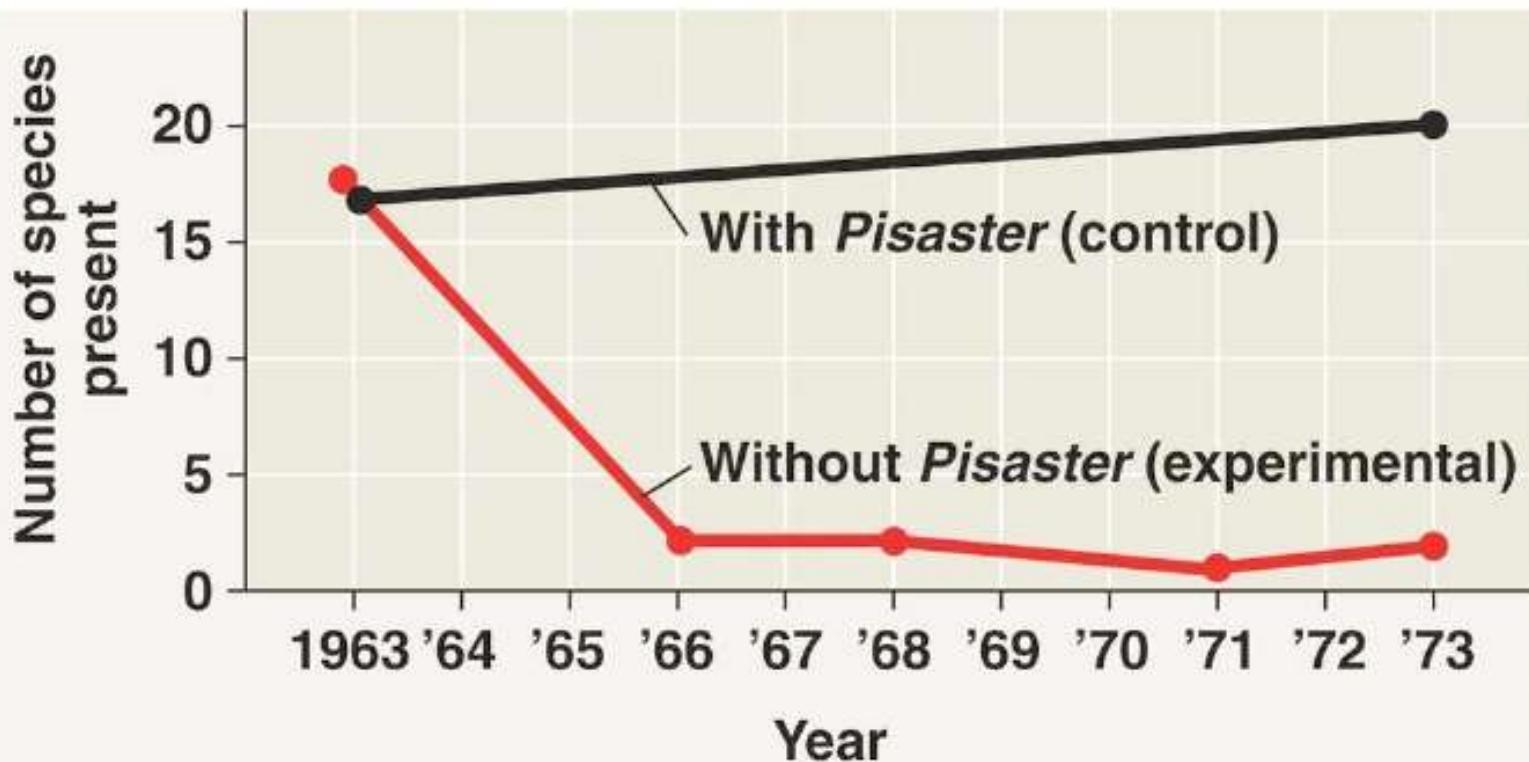




Robert Paine

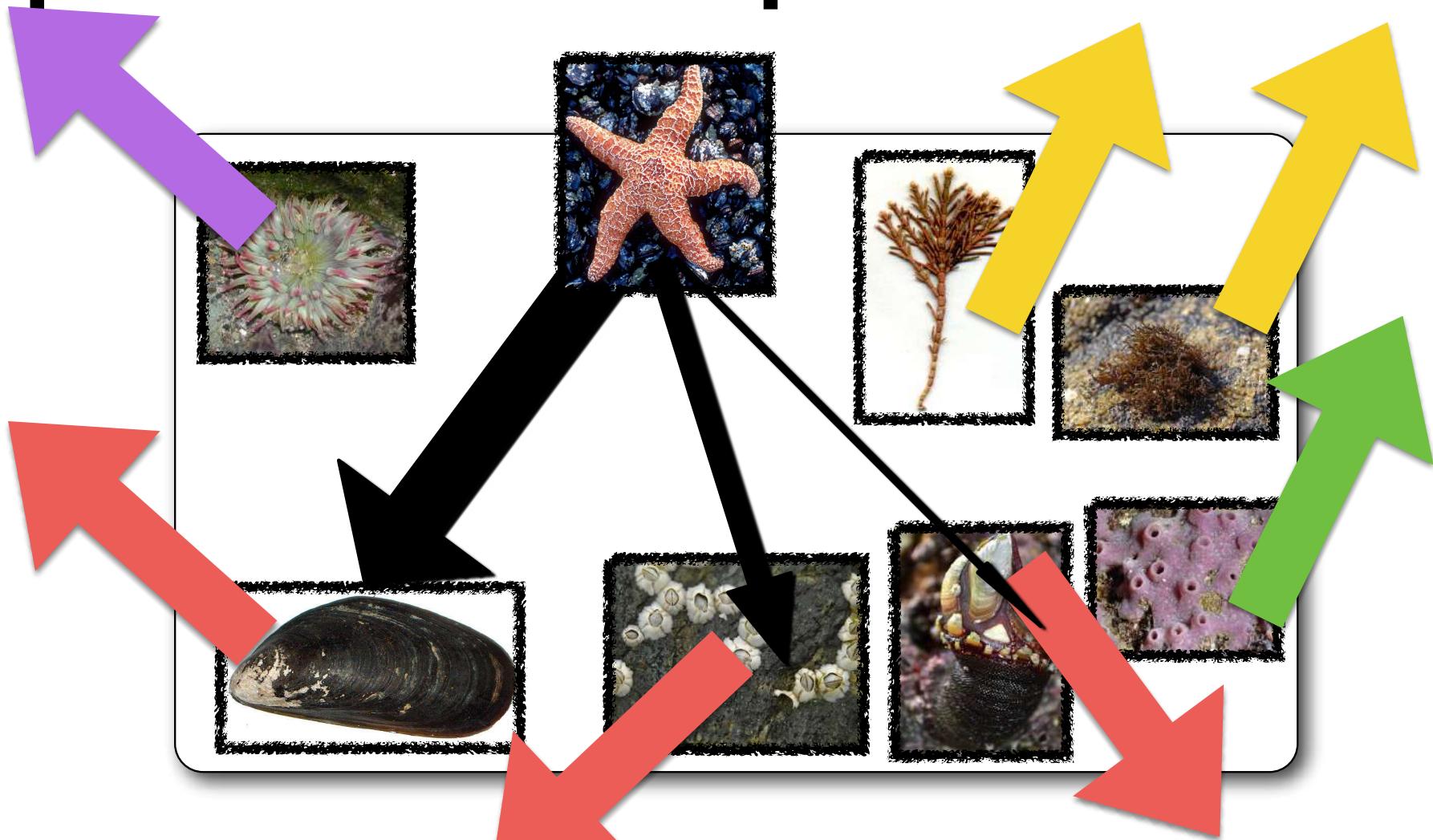


RESULTS

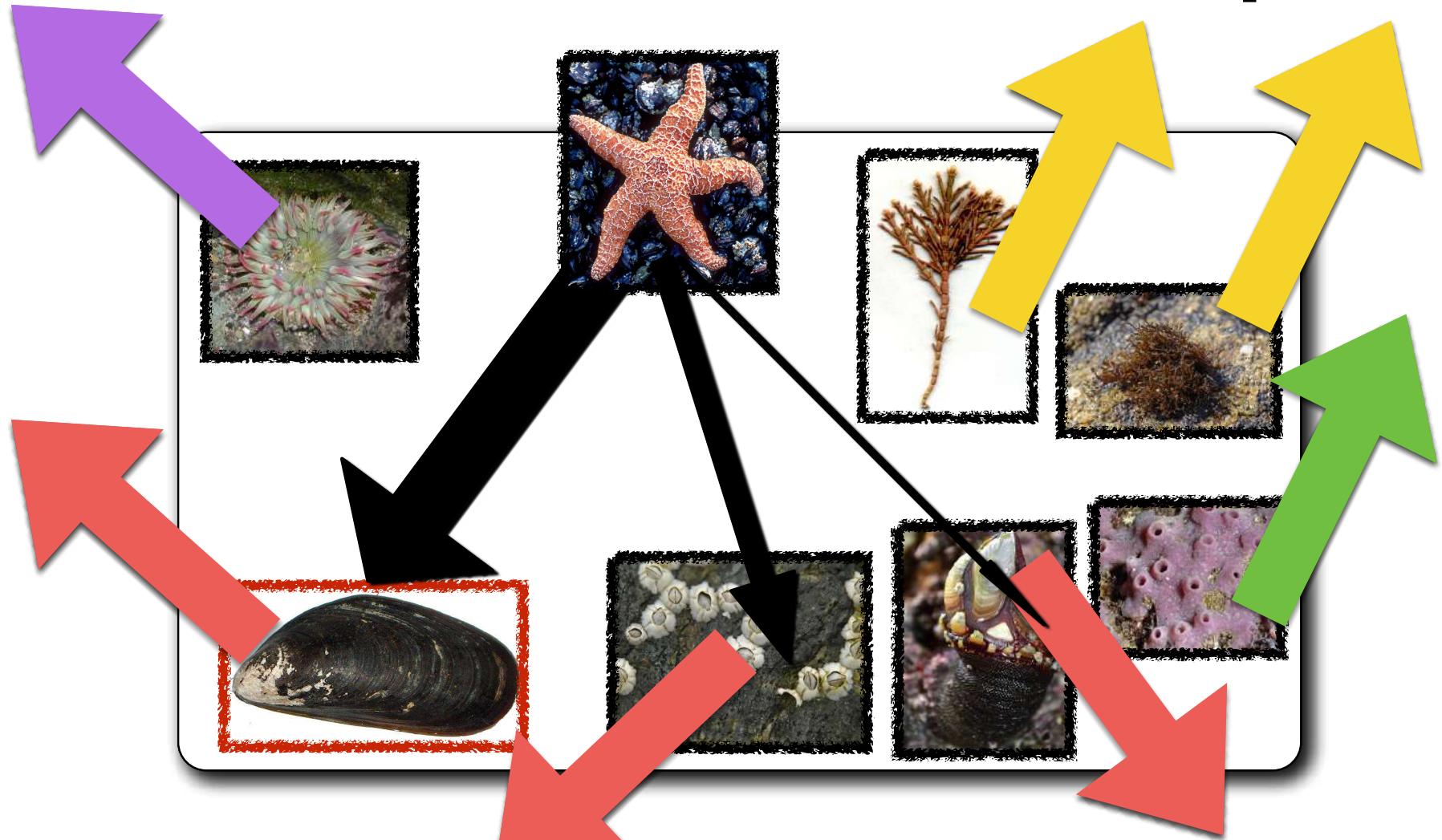


Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.

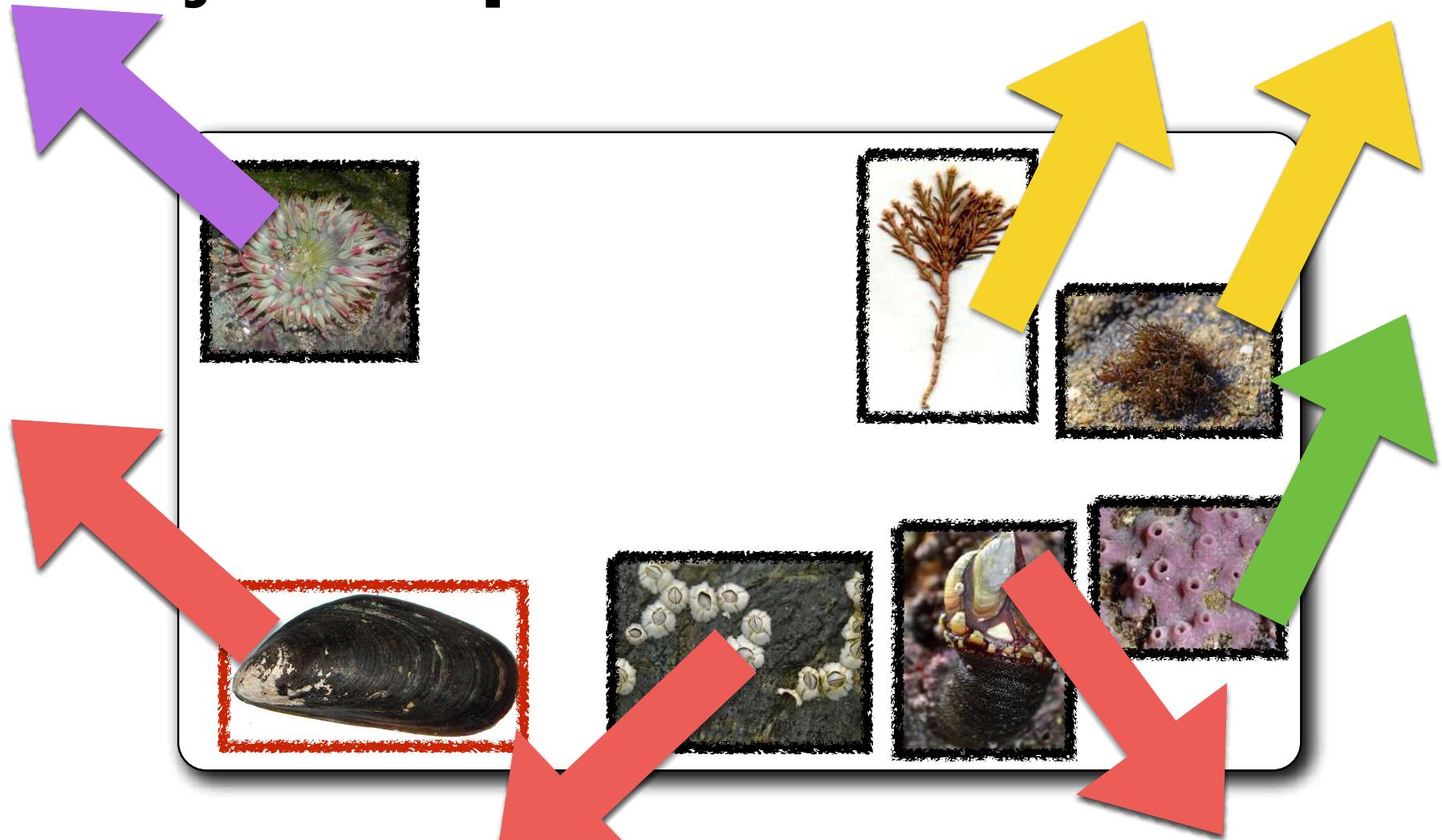
Experimentos manipulando a rede



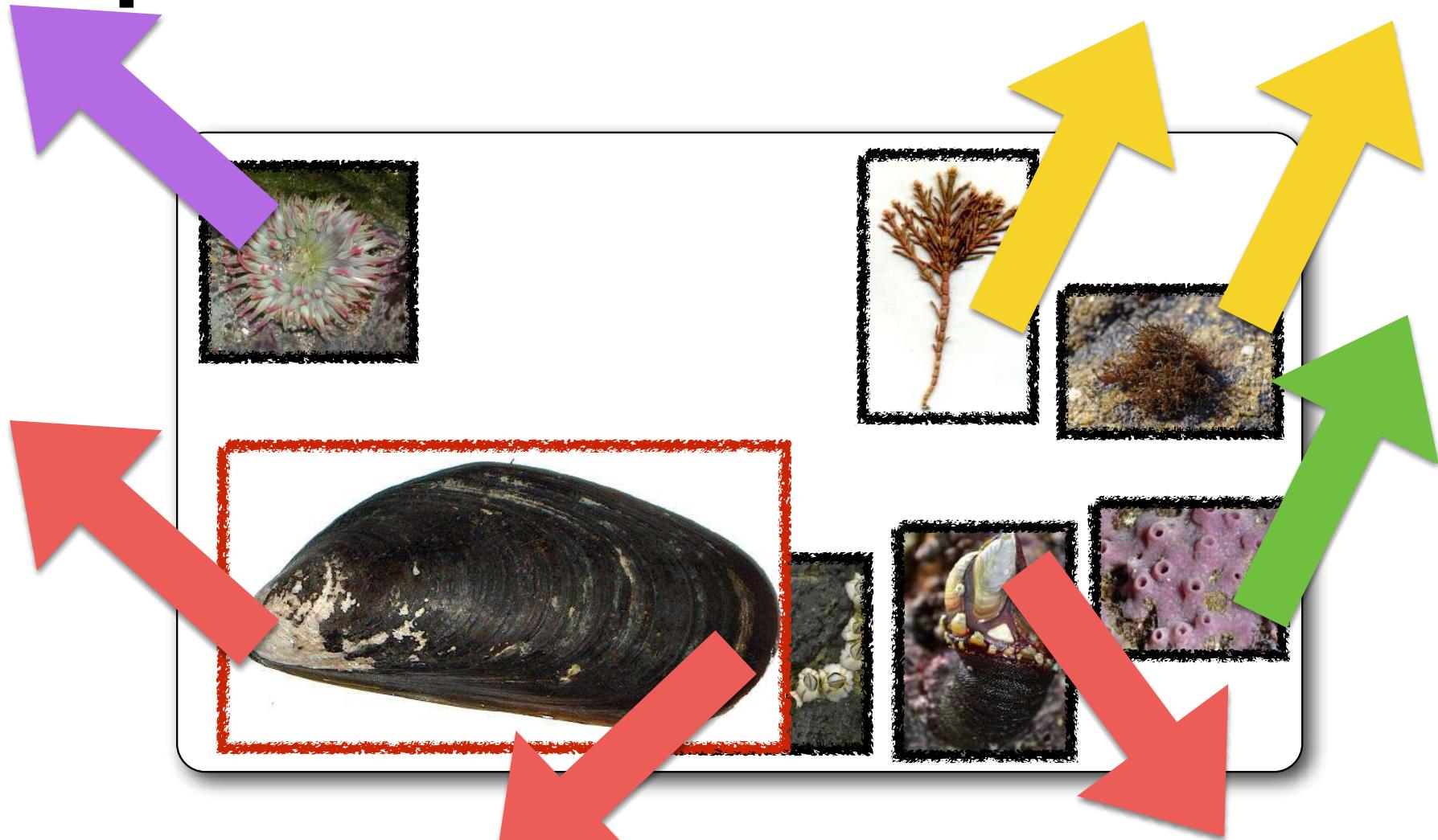
Predador controla o melhor competidor



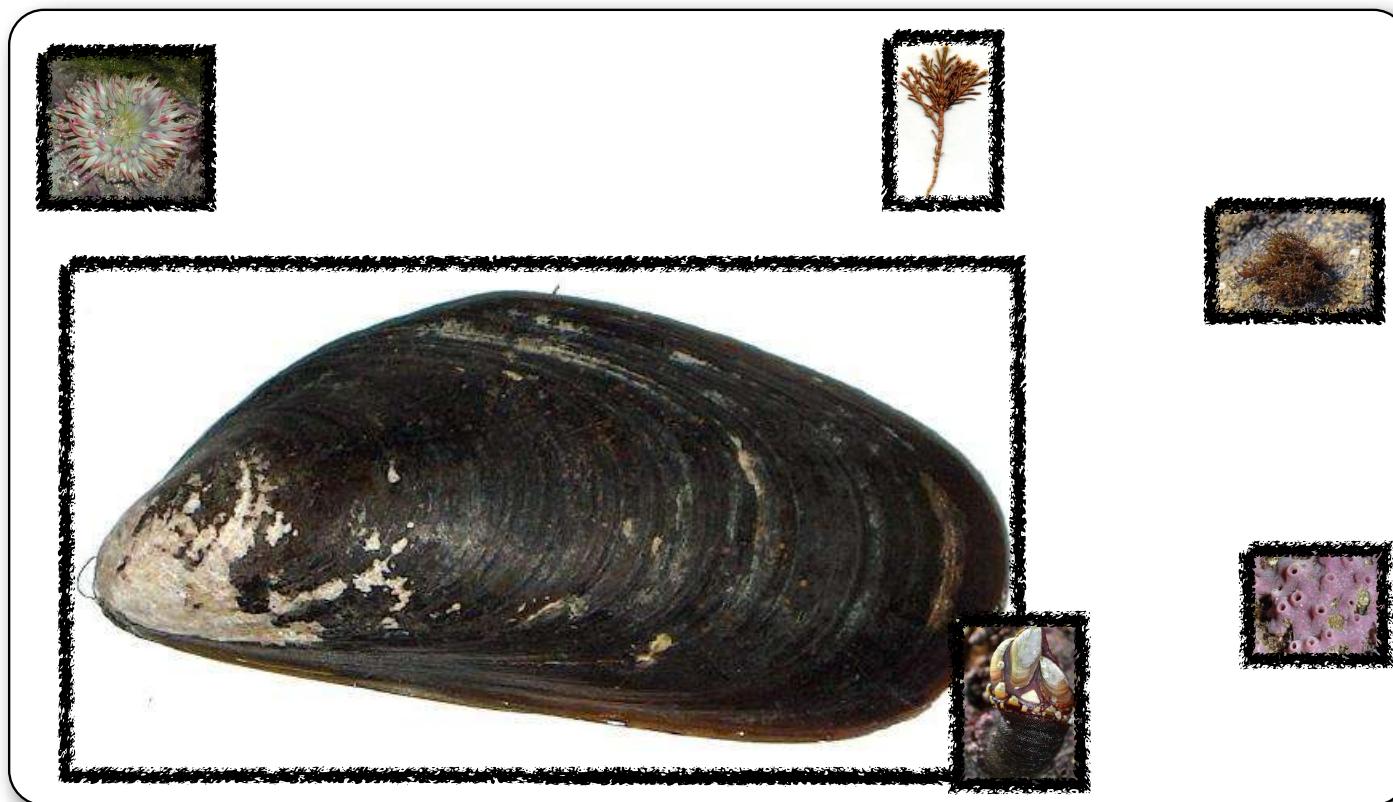
Remoção do predador



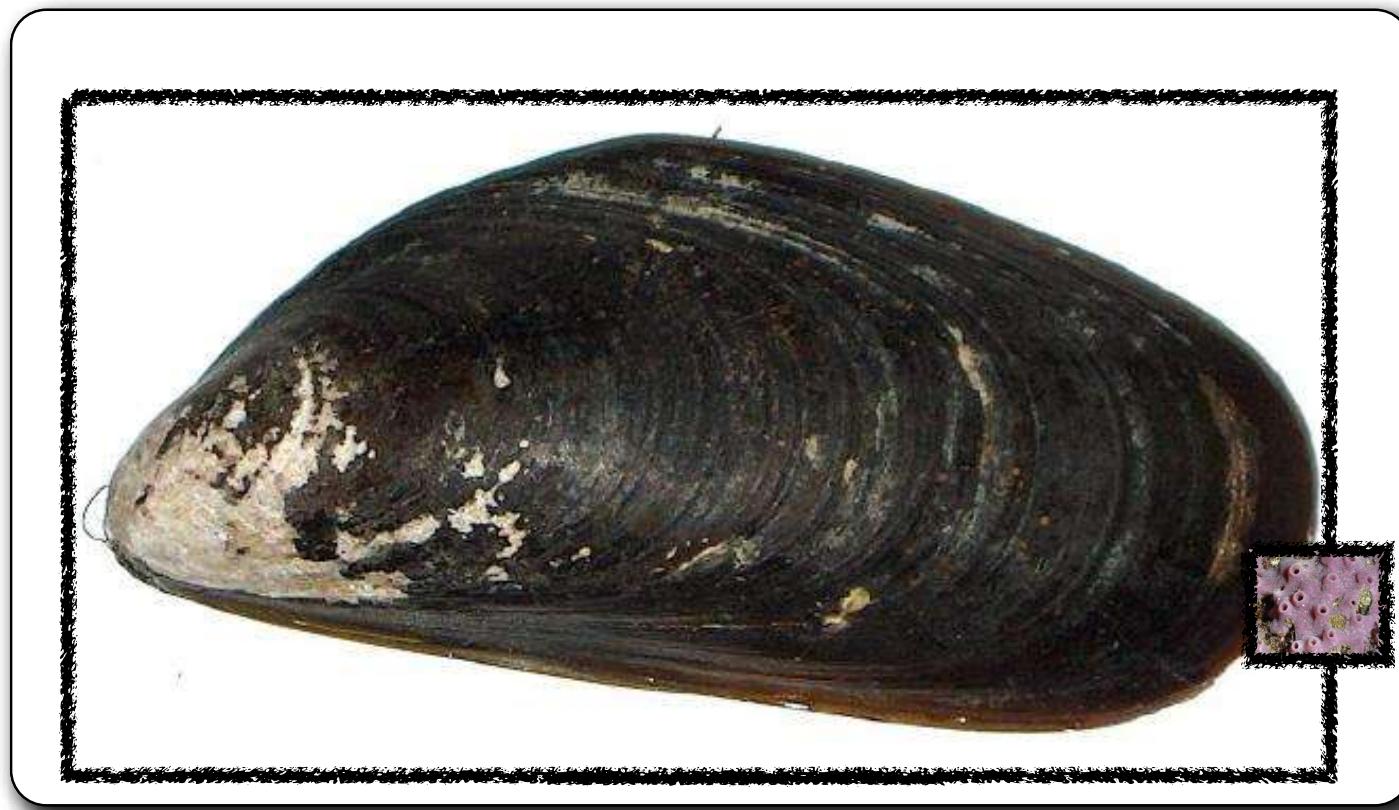
Competidor aumenta



Colapso da rede



Colapso da diversidade



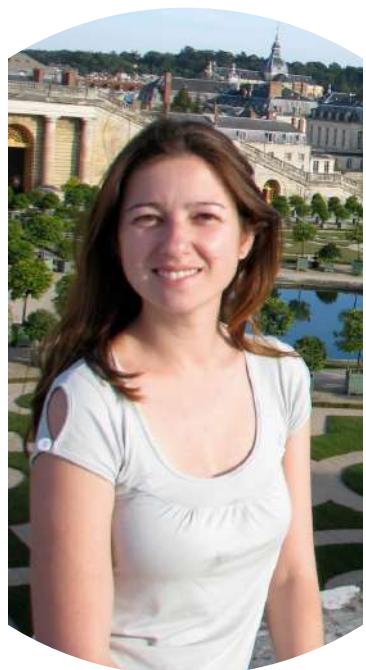
Formas de estudar a dinâmica

- Manipulação experimental
- "**Experimentos naturais**"
- Evidência observacional
- Modelos matemáticos

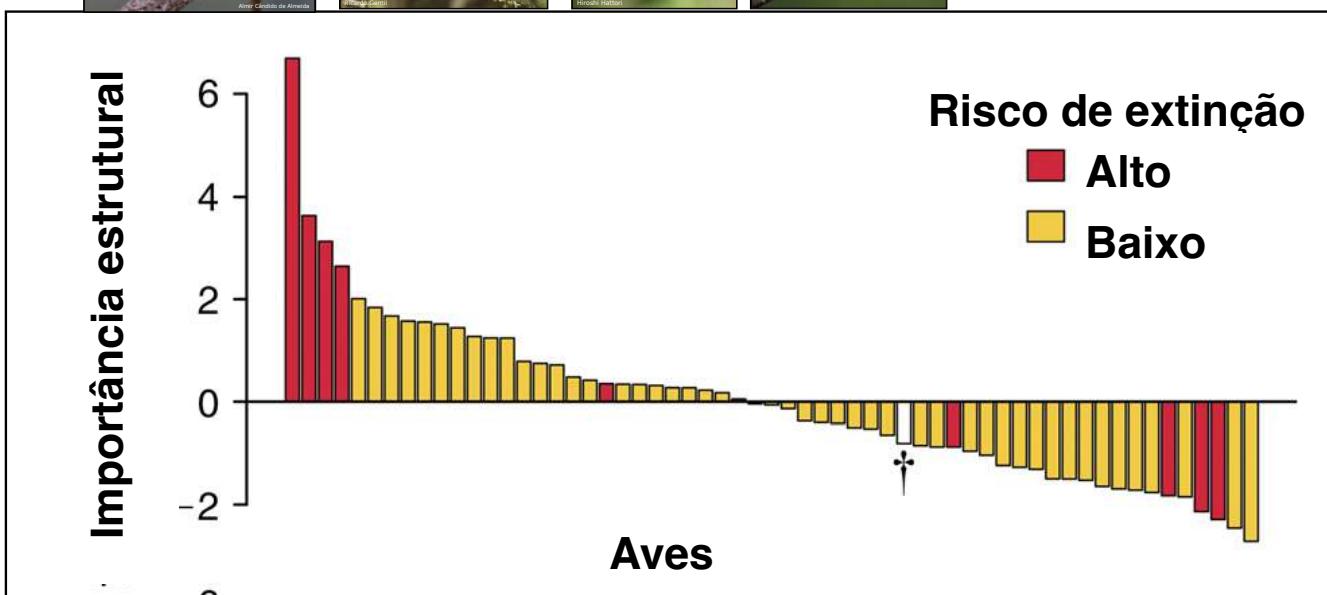


Formas de estudar a dinâmica

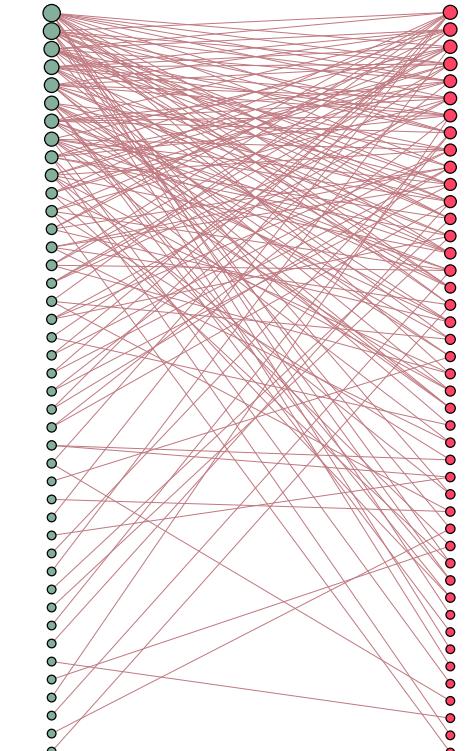
- Manipulação experimental
- "Experimentos naturais"
- **Evidência observacional (modelos estatísticos)**
- Modelos matemáticos



Mariana Vidal



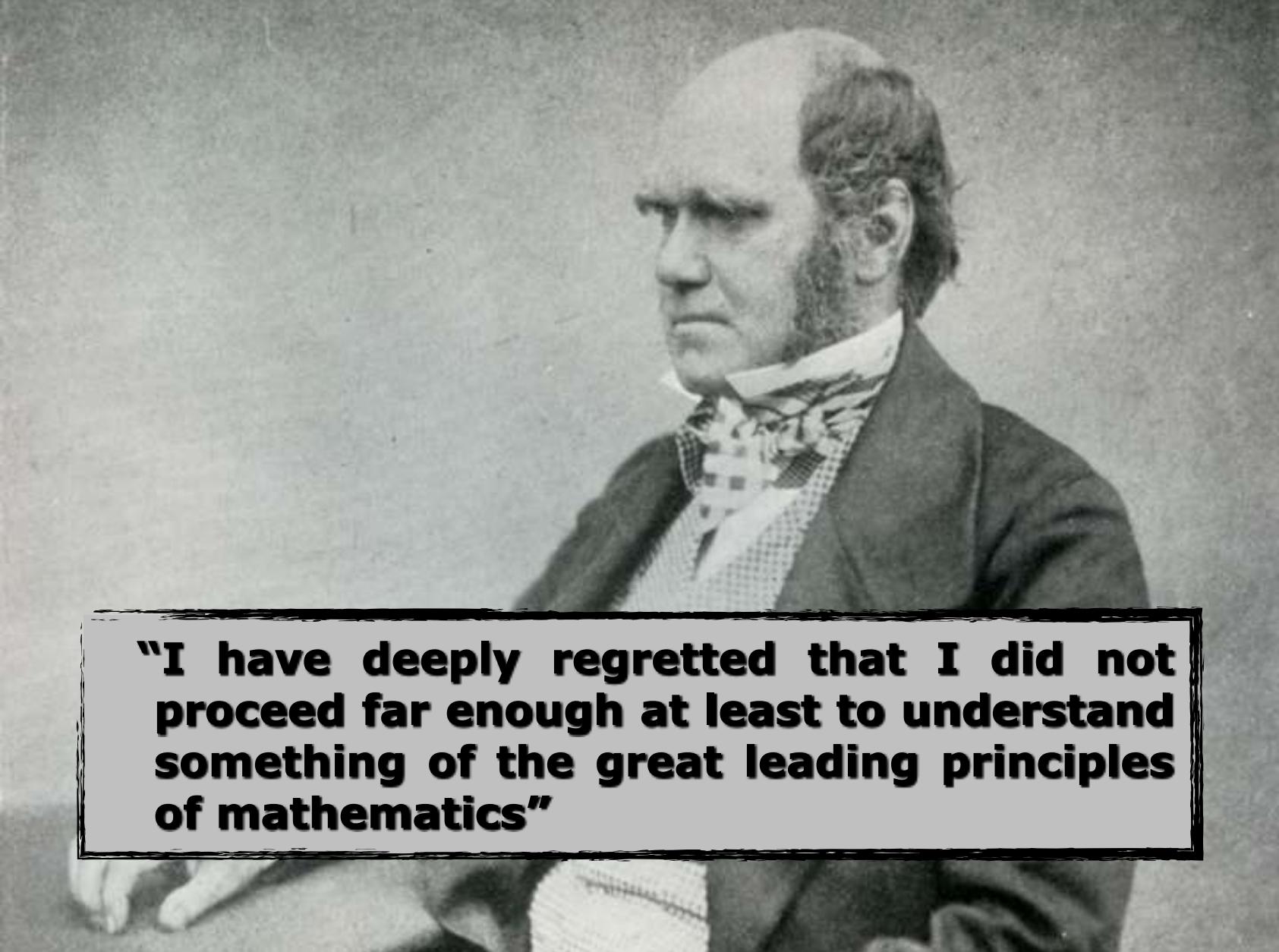
42
Vidal et al. 2014



44

Formas de estudar a dinâmica

- Manipulação experimental
- "Experimentos naturais"
- Evidência observacional (modelos estatísticos)
- **Modelos matemáticos (incluindo computacionais)**

A black and white portrait of Charles Babbage, a man with a receding hairline and a full, dark beard, wearing a suit and bow tie. He is looking slightly to his left.

"I have deeply regretted that I did not proceed far enough at least to understand something of the great leading principles of mathematics"



Jordi Bascompte



Pedro Jordano



Marcus Aguiar



John N. Thompson



Carlos Melián



Magne Friberg



Mathias Pires



Flavia Marquitti



Ana Paula Assis



Paula Lemos-Costa



Cecilia Andreazzi



Pam Santana



Rafael Raimundo



Irina Barros



Kate Maia



Lucas Camacho



Lucas Medeiros



Lucas Nascimento



Leandro Cosmo



Vinícius Bastazini

Alguns princípios

V. Modelagem e realismo

- Modelos visam ser preditivos ou explicativos, não visam realismo



**“Nothing is less real than realism.
Details are confusing. It is only by
selection, by elimination, by
emphasis, that we get at the real
meaning of things.”**

Georgia O'Keeffe

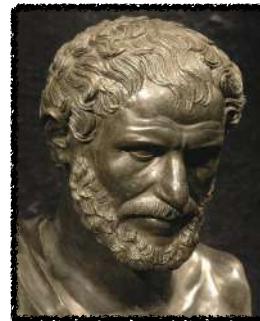
Alguns princípios

V. Modelagem e realismo

- Modelos visam ser preditivos ou explicativos, não visam realismo
- Modelos explicativos visam gerar compreensão
- Modelos mapeiam premissas com previsões de forma inequívoca
 - Argumentos verbais não
- Modelos como provas de conceito

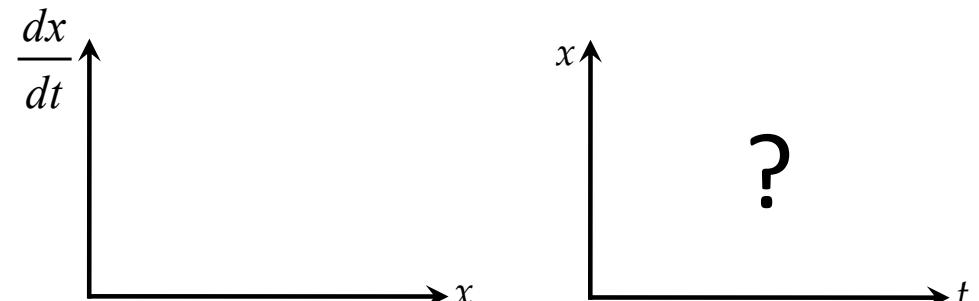
Alguns princípios

VI. Taxas de variação



All is flux, nothing is stationary.
Heráclito de Éfeso (535 a.C. - 475 a.C)

- Queremos como o sistema varia no tempo
- Mas descrevemos taxas de variação
- É mais simples (de criar hipóteses)



Aula 3: Dinâmica

- Dinâmica (em redes) : uma introdução
- **Dinâmica da rede**
- Dinâmica na rede
- Redes adaptativas
- Resumo

Modelos de montagem de redes

- A trindade dos modelos de redes complexas
- Modelos de montagem
- Modelos de desmontagem
- Modelos baseados em agentes (ou “indivíduos”)

Modelos de montagem de redes

- A trindade dos modelos de redes complexas
- Modelos de montagem
- Modelos de desmontagem
- Modelos baseados em agentes (ou “indivíduos”)



A trindade dos modelos de redes complexas

- O porquê de “complexas”?

Alguns princípios

VII. Complexidade

- Um **sistema é complexo** se os padrões observados são **propriedades emergentes**
- **Propriedade emergente** é um padrão **auto-organizado**
- **Auto-organização** é um processo governado pelas interações entre os elementos do sistema

A trindade dos modelos de redes complexas

- O porquê de “complexas”?
 - A estrutura da rede emerge das interações entre os pontos

A trindade dos modelos de redes complexas

- O porquê de “complexas”?
 - A estrutura da rede emerge das interações entre os pontos
- **Grafo aleatório de Erdös-Rényi**
- **A rede aleatória de Watts-Strogatz**
- **O modelo Albert- Barabasi**

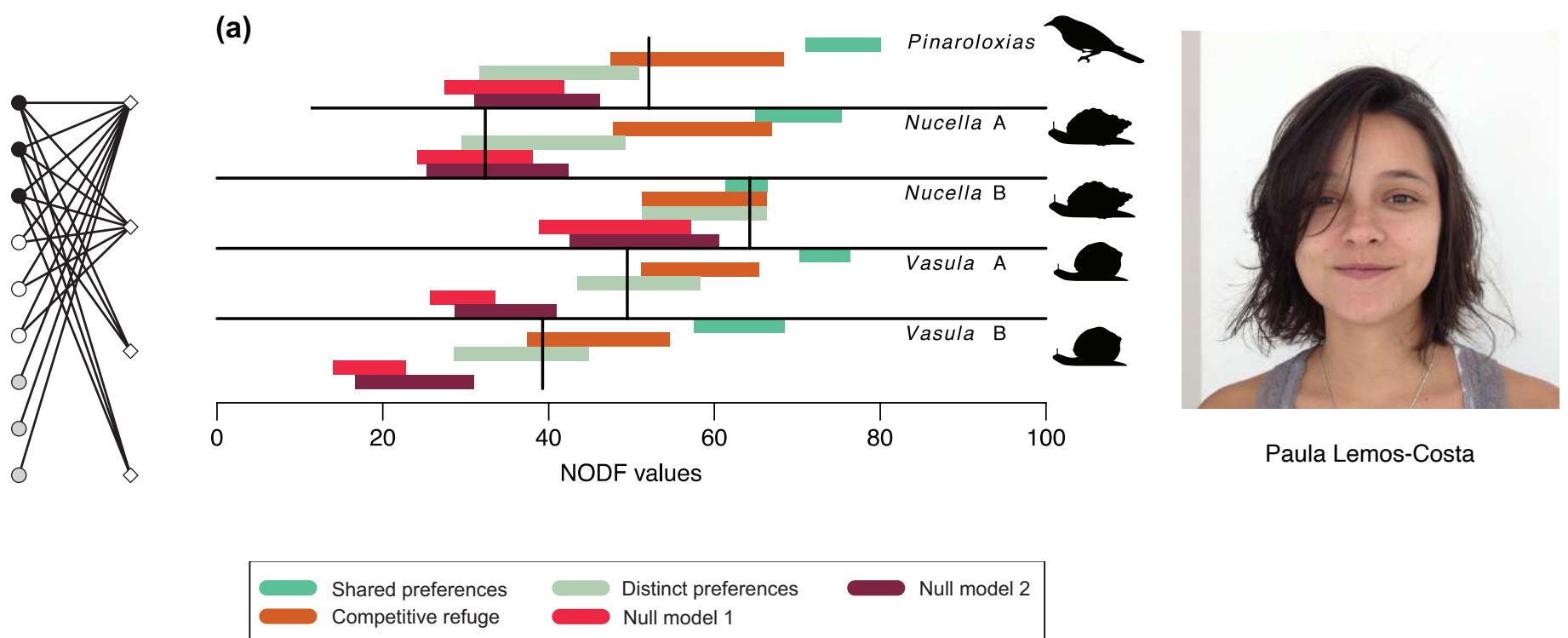
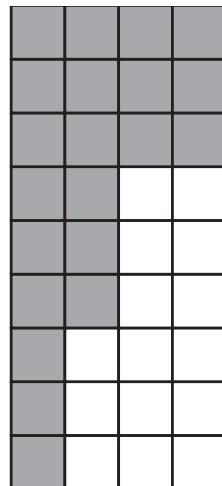


Roteiro no GitHub

Modelos de montagem de redes

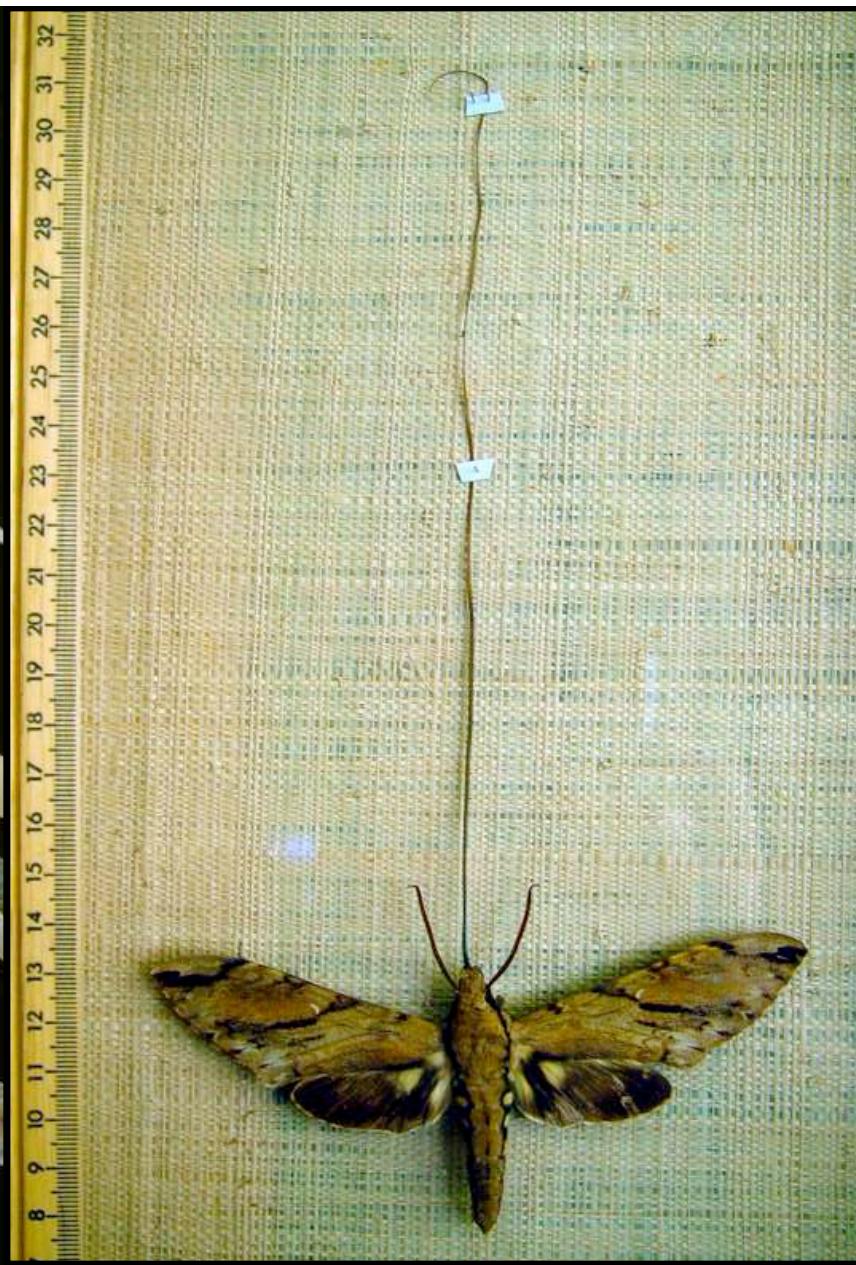
- A trindade dos modelos de redes complexas
- **Modelos de montagem**
- Modelos de desmontagem
- Modelos baseados em agentes (ou “indivíduos”)

Modelos de montagem de redes



Modelos de montagem de redes

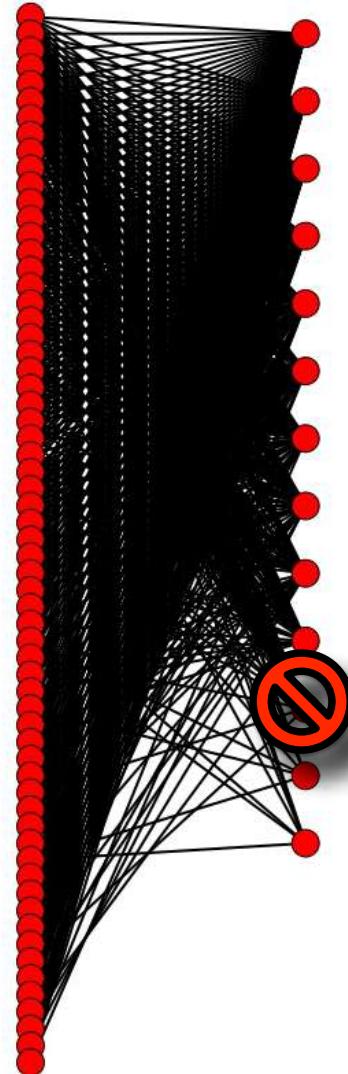
- A trindade dos modelos de redes complexas
- Modelos de montagem
- **Modelos de desmontagem**
- Modelos baseados em agentes (ou “indivíduos”)





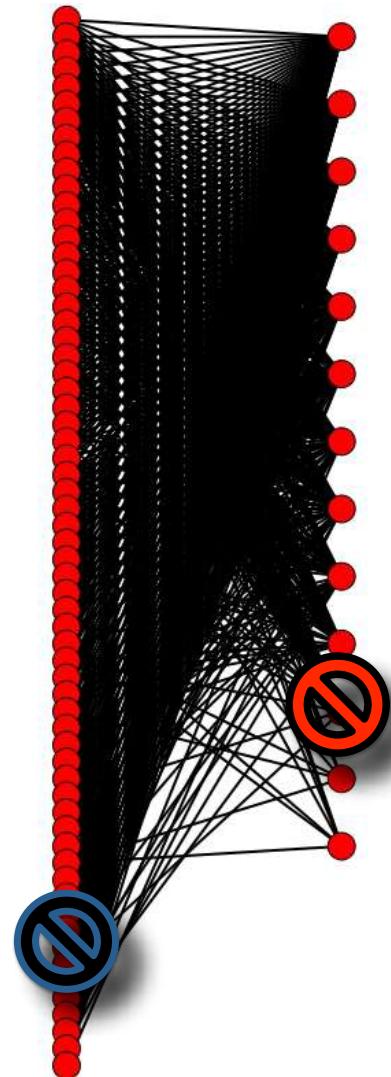


Robusta a extinções aleatórias

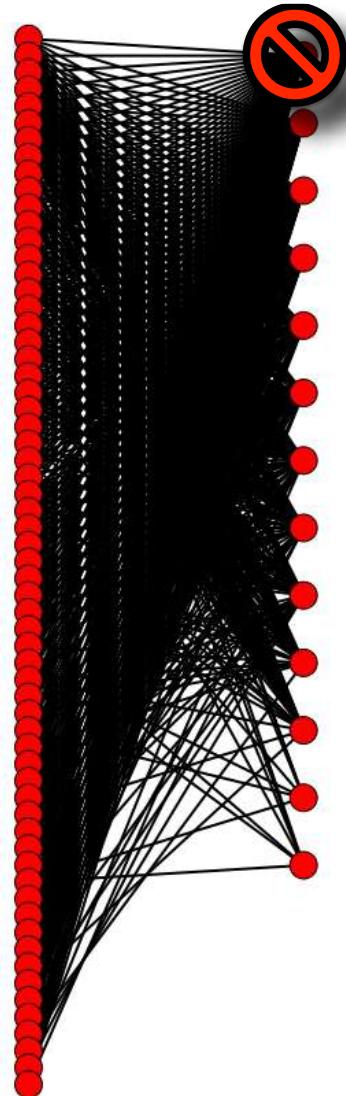


Jane Memmott

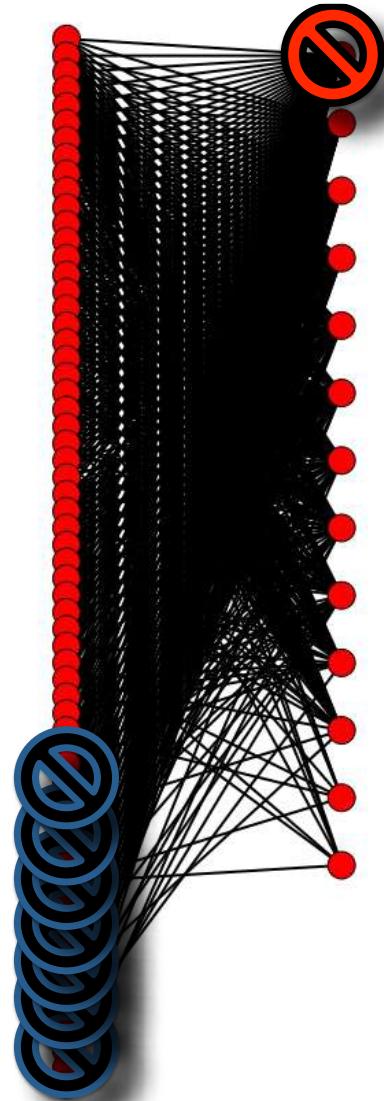
Robusta a extinções aleatórias



Frágil a extinções de espécies generalistas



Frágil a extinções de espécies generalistas

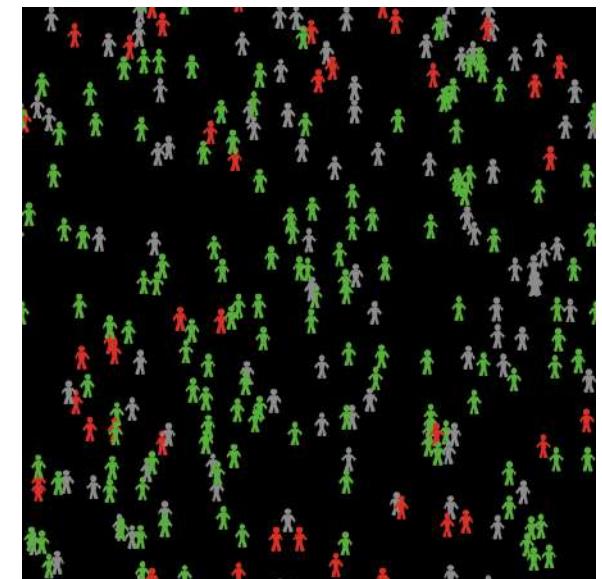


Modelos de montagem de redes

- A trindade dos modelos de redes complexas
- Modelos de montagem
- Modelos de desmontagem
- **Modelos baseados em agentes (ou “indivíduos”)**

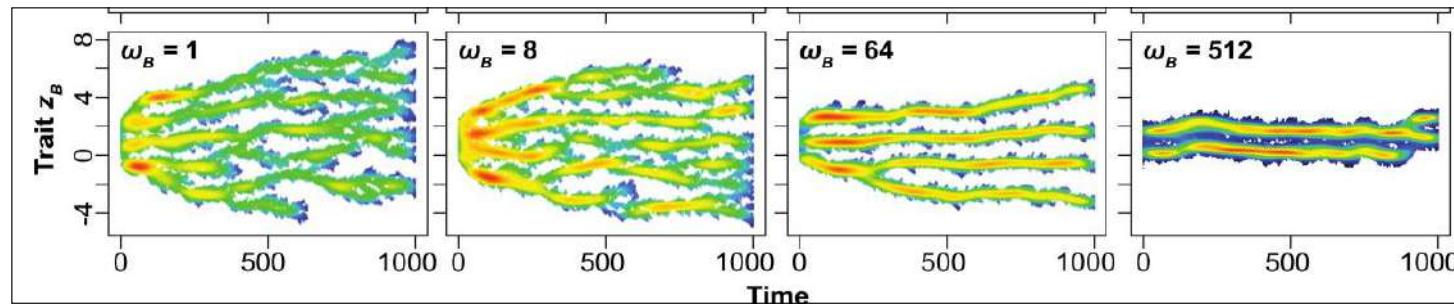
Modelos baseados em agentes

- Cada agente tem regras de comportamento
- Cada agente tem características
- Pode ser espacialmente explícito
- A rede emerge dos agentes



Um exemplo negativo (mas positivo!)

- Mutualismos são ricos em espécie
- Mutualismos favorecem a diversificação?
- Não, pelo menos localmente (e nesse modelo)



Rafael Raimundo

Aula 3: Dinâmica

- Dinâmica (em redes) : uma introdução
- Dinâmica da rede
- **Dinâmica na rede**
- Redes adaptativas
- Resumo

Dinâmica na rede

- Sistemas de equações à diferença
- Sistemas de equações diferenciais



Dinâmica na rede

- Sistemas de equações à diferença
- Sistemas de equações diferenciais

$$\frac{1}{N_i^{(P)}} \frac{dN_i^{(P)}}{dt} = \alpha_i^{(P)} - \sum_{j \in P} \beta_{ij}^{(P)} N_j^{(P)}$$

Dinâmica na rede

- Sistemas de equações à diferença
- Sistemas de equações diferenciais

Mudança na
Abundância

$$= \alpha_i^{(P)} - \sum_{j \in P} \beta_{ij}^{(P)} N_j^{(P)}$$

Dinâmica na rede

- Sistemas de equações à diferença
- Sistemas de equações diferenciais

$$\text{Mudança na Abundância}_{ij} = \text{Espécie}_{ij} - \sum_{j \in P} \beta_{ij}^{(P)} N_j^{(P)}$$

Dinâmica na rede

- Sistemas de equações à diferença
- Sistemas de equações diferenciais

Mudança na
Abundância

= Espécie —

REDE

Sistemas de equações para dinâmica

Três análises informativas

- Resolver as equações
- Achar o equilíbrio
- Analisar a estabilidade do equilíbrio

Sistemas de equações para dinâmica

Três análises informativas

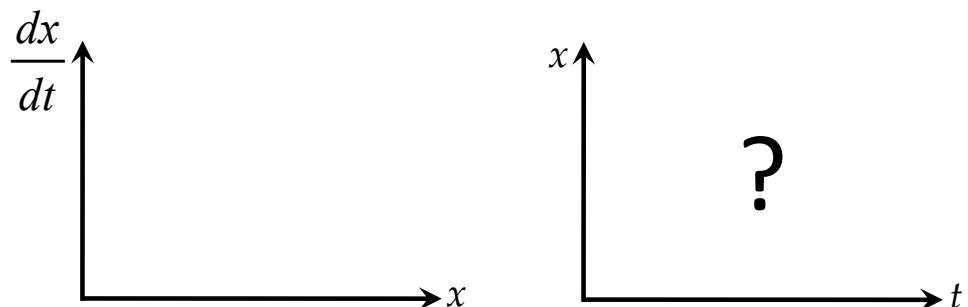
- **Resolver as equações**

- Achar o equilíbrio
- Analisar a estabilidade do equilíbrio



Alfred Lotka

The fundamental equations assume the simplest, more primitive form, when they are written relative to rates of change, velocity, of the state of the system, rather than relative to the state itself. The differential equations are therefore taken as the starting point, from which the equations relating to the progressive states themselves, as functions of the time, are then derived by integration.



Sistemas de equações para dinâmica

Três análises informativas

- Resolver as equações
- **Achar o equilíbrio**
- Analisar a estabilidade do equilíbrio

Achar o equilíbrio

Um exemplo com o modelo de coevolução em redes mutualismos

$$\Delta Z_i = h_{Z_i}^2 \sigma_{Z_i}^2 \varrho_i \left[\sum_{j=1}^S q_{ij}^t (Z_j^{(t)} - Z_i^{(t)}) + p_i (\theta_i - Z_i^{(t)}) \right]$$

Achar o equilíbrio

Um exemplo com o modelo de coevolução em redes mutualismos

$$\text{Mudança na Característica} = h_{Z_i}^2 \sigma_{Z_i}^2 \varrho_i \left[\sum_{j=1}^S q_{ij}^t (Z_j^{(t)} - Z_i^{(t)}) + p_i (\theta_i - Z_i^{(t)}) \right]$$

Achar o equilíbrio

Um exemplo com o modelo de coevolução em redes mutualismos

$$\text{Mudança na Característica} = \text{Espécie} \left[\sum_{j=1}^S q_{ij}^t (Z_j^{(t)} - Z_i^{(t)}) + p_i (\theta_i - Z_i^{(t)}) \right]$$

Achar o equilíbrio

Um exemplo com o modelo de coevolução em redes mutualismos

$$\text{Mudança na Característica} = \text{Espécie} \left[\sum_{j=1}^S q_{ij}^t (Z_j^{(t)} - Z_i^{(t)}) + \text{Fatores externos} \right]$$

Achar o equilíbrio

Um exemplo com o modelo de coevolução em redes mutualismos

$$\text{Mudança na Característica} = \text{Espécie} \mid \text{Efeito da rede} + \text{Fatores externos} \Bigg]$$

Achar o equilíbrio

Um exemplo com o modelo de coevolução em redes mutualismos

$$\Delta Z_i = h_{Z_i}^2 \sigma_{Z_i}^2 \varrho_i \left[\sum_{j=1}^S q_{ij}^t (Z_j^{(t)} - Z_i^{(t)}) + p_i (\theta_i - Z_i^{(t)}) \right]$$

$$0 = h_{Z_i}^2 \sigma_{Z_i}^2 \varrho_i \left[\sum_{j=1}^S q_{ij}^t (Z_j^{(t)} - Z_i^{(t)}) + p_i (\theta_i - Z_i^{(t)}) \right]$$

Achar o equilíbrio

Um exemplo com o modelo de coevolução em redes mutualismos

$$\Delta Z_i = h_{Z_i}^2 \sigma_{Z_i}^2 \varrho_i \left[\sum_{j=1}^S q_{ij}^t (Z_j^{(t)} - Z_i^{(t)}) + p_i (\theta_i - Z_i^{(t)}) \right]$$

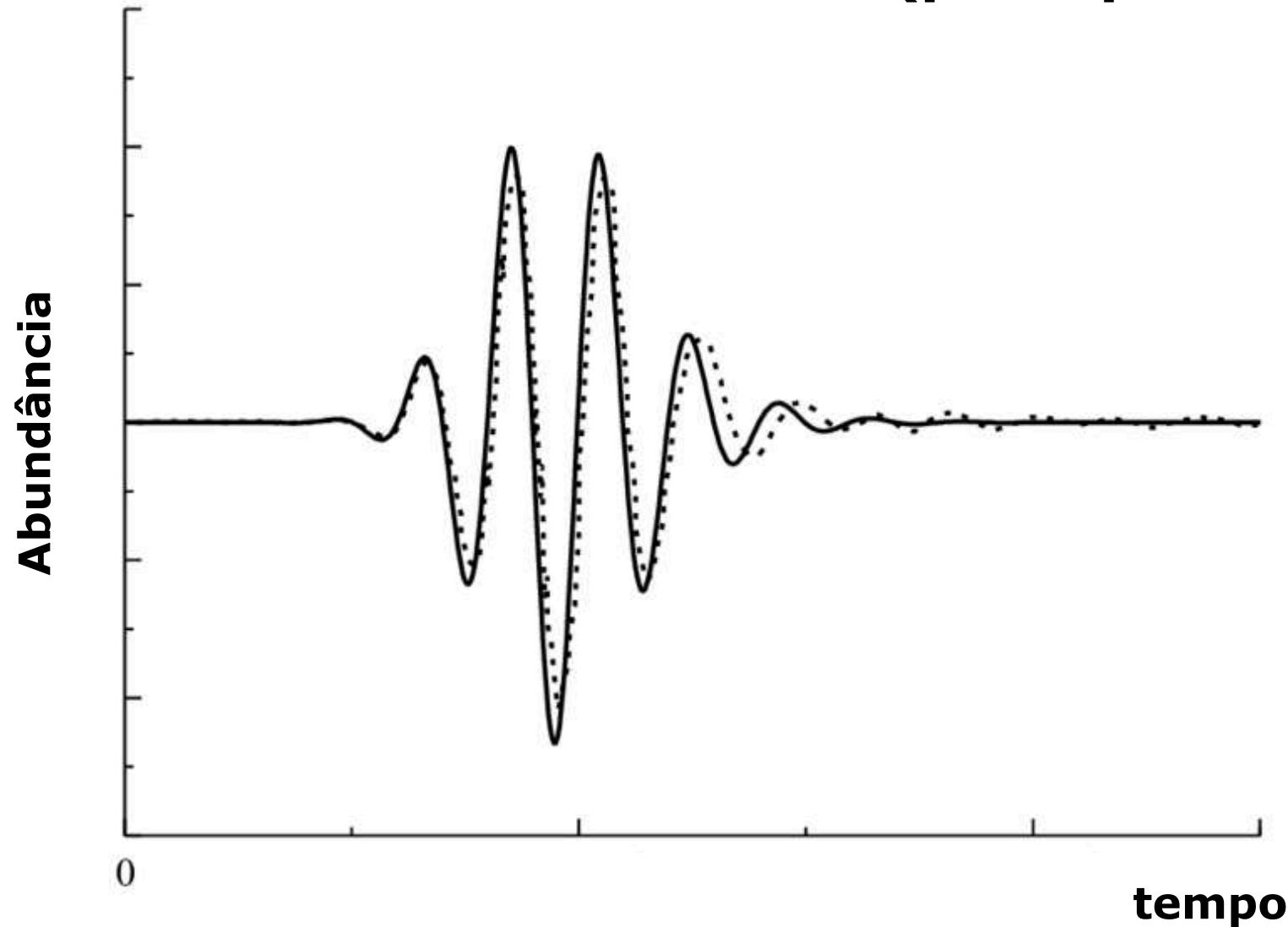
$$Z_i^* = \sum_{j=1}^S q_{ij}^t Z_j^* + p_i \theta_i$$

Sistemas de equações para dinâmica

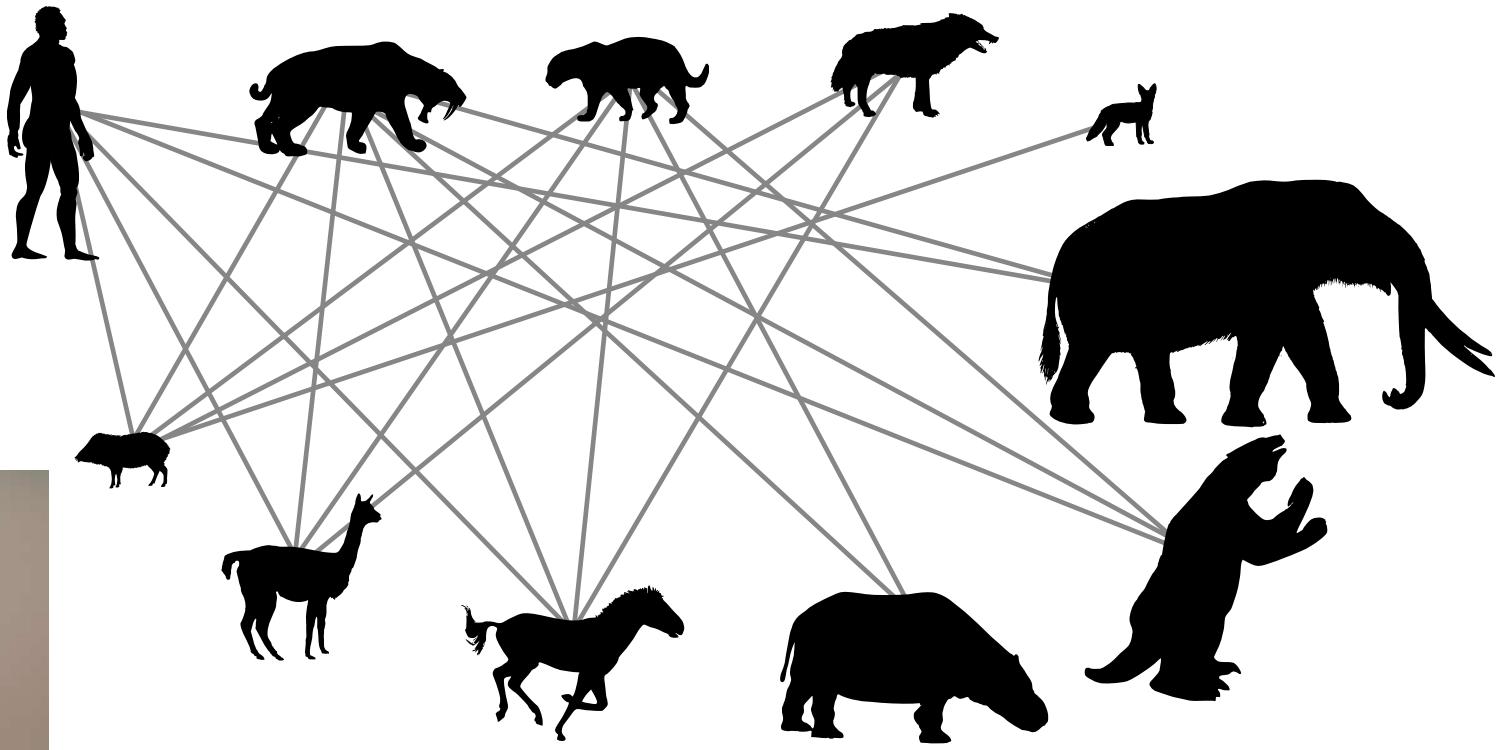
Três análises informativas

- Resolver as equações
- Achar o equilíbrio
- **Analisar a estabilidade do equilíbrio**

Estabilidade de sistemas dinâmicos (pulse perturbation)



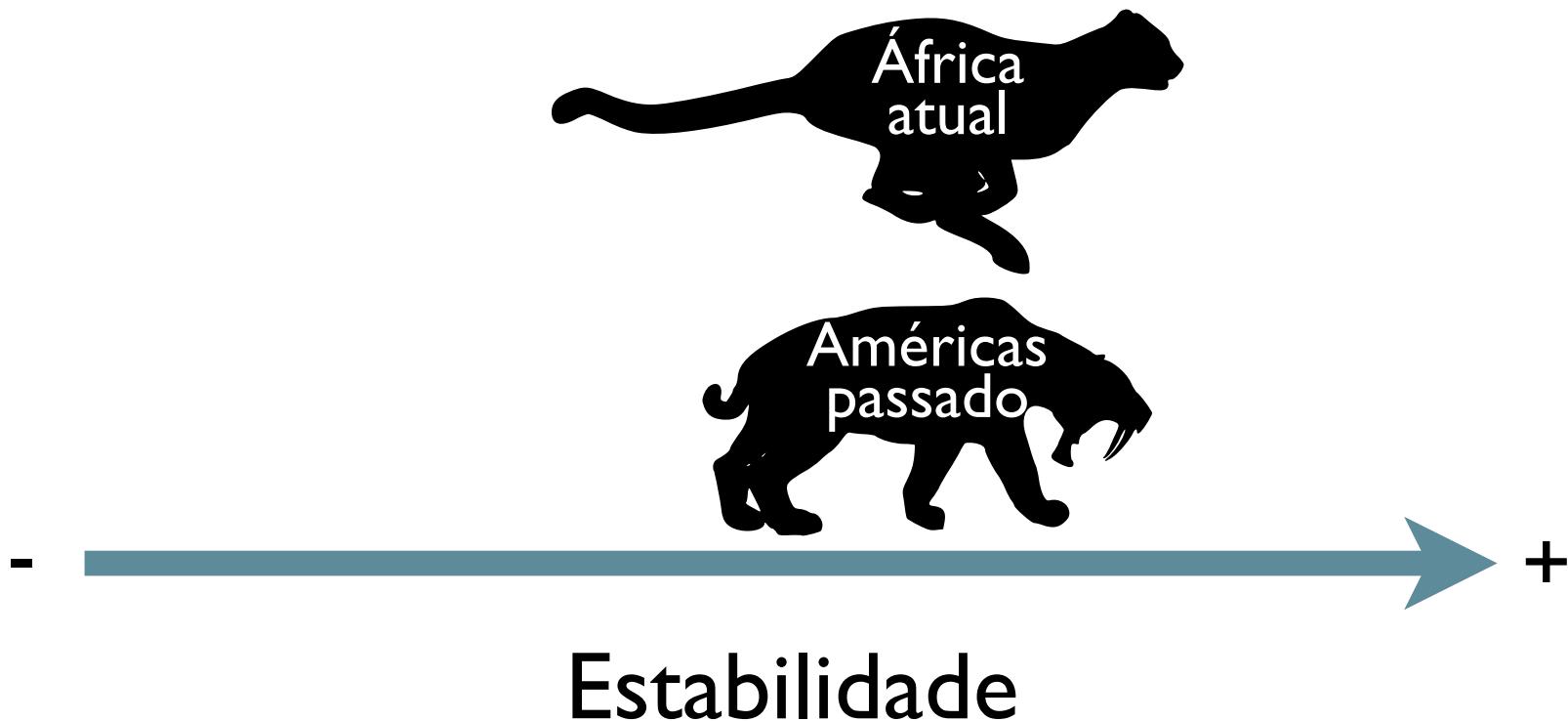
Um exemplo pré-histórico



Mathias Pires

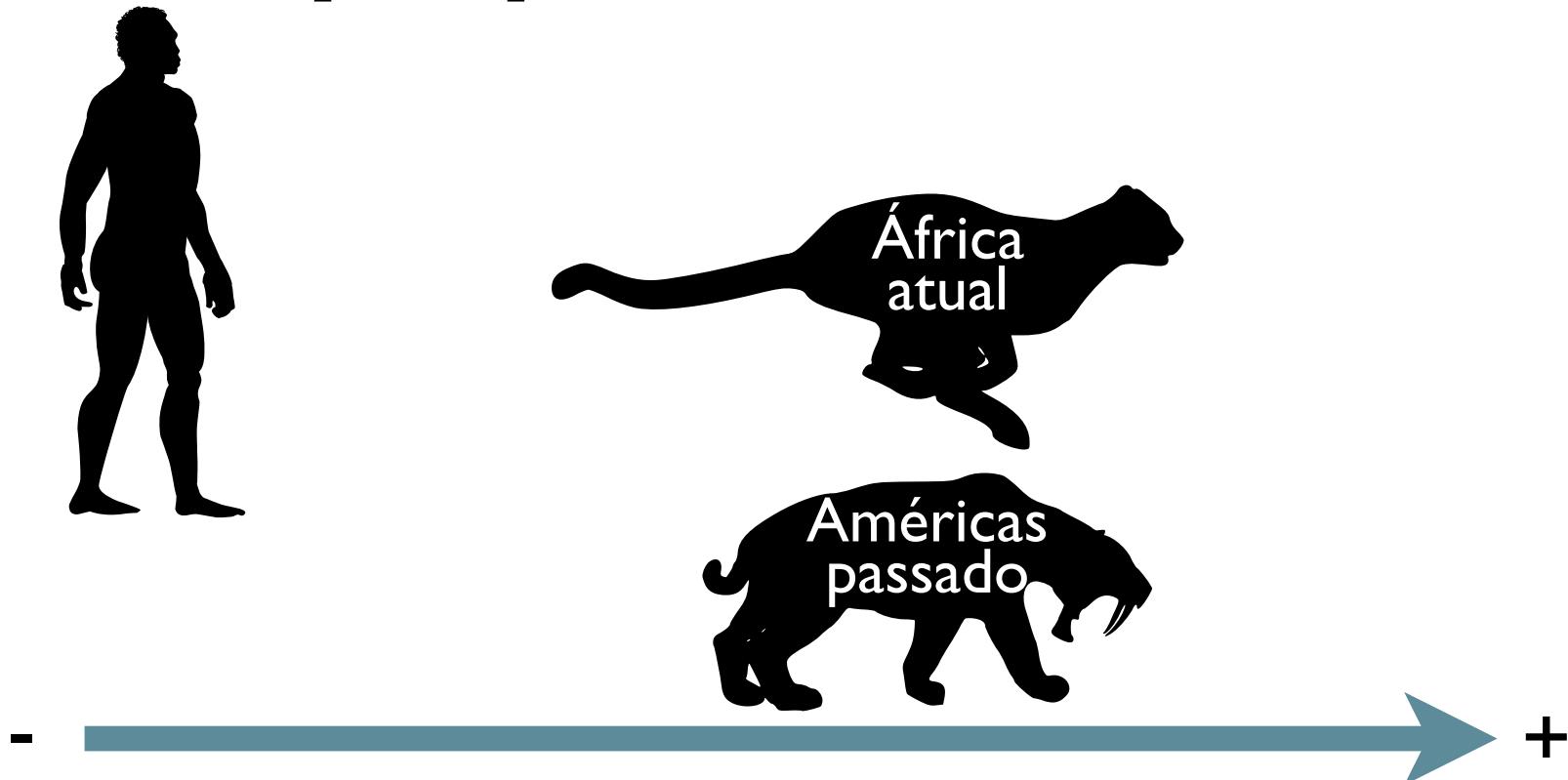
Pires et al. 2015 - Proc R. Soc B

Um exemplo pré-histórico



Pires et al. 2015 - Proc R. Soc B

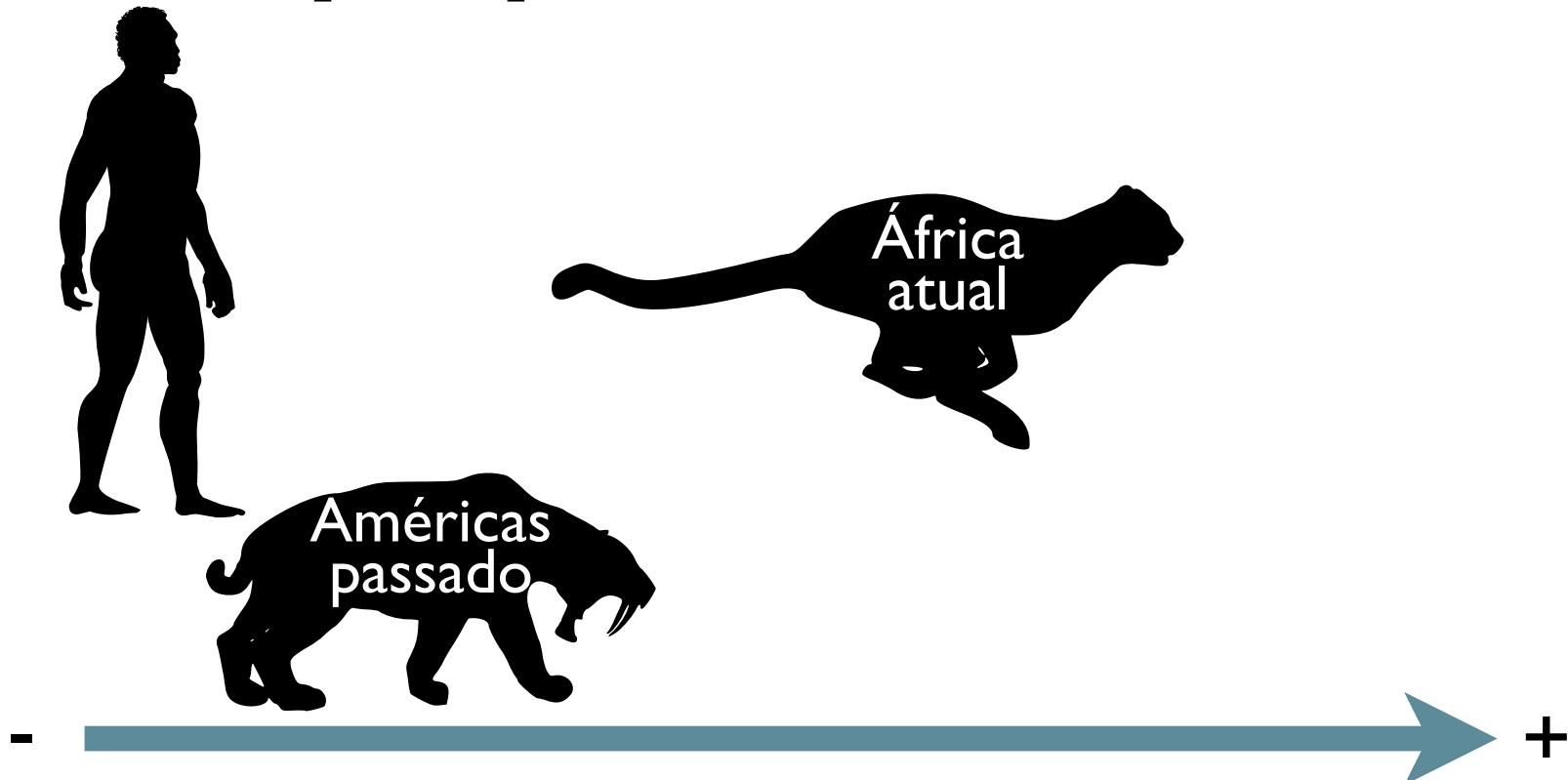
Um exemplo pré-histórico



Estabilidade

Pires et al. 2015 - Proc R. Soc B

Um exemplo pré-histórico



Estabilidade

Pires et al. 2015 - Proc R. Soc B

Estabilidade de sistemas dinâmicos (press perturbation)

$$\frac{1}{N_i^{(P)}} \frac{dN_i^{(P)}}{dt} = \alpha_i^{(P)} - \sum_{j \in P} \beta_{ij}^{(P)} N_j^{(P)} \quad + \text{perturbação}$$

Uma pressão contínua (*press perturbation*): aridificação

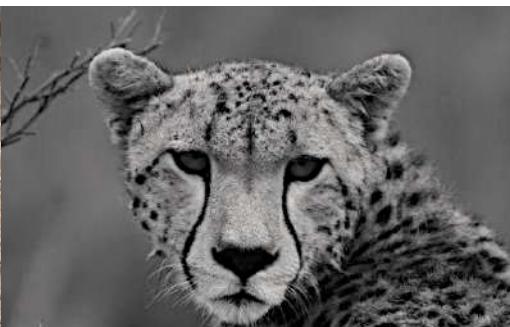




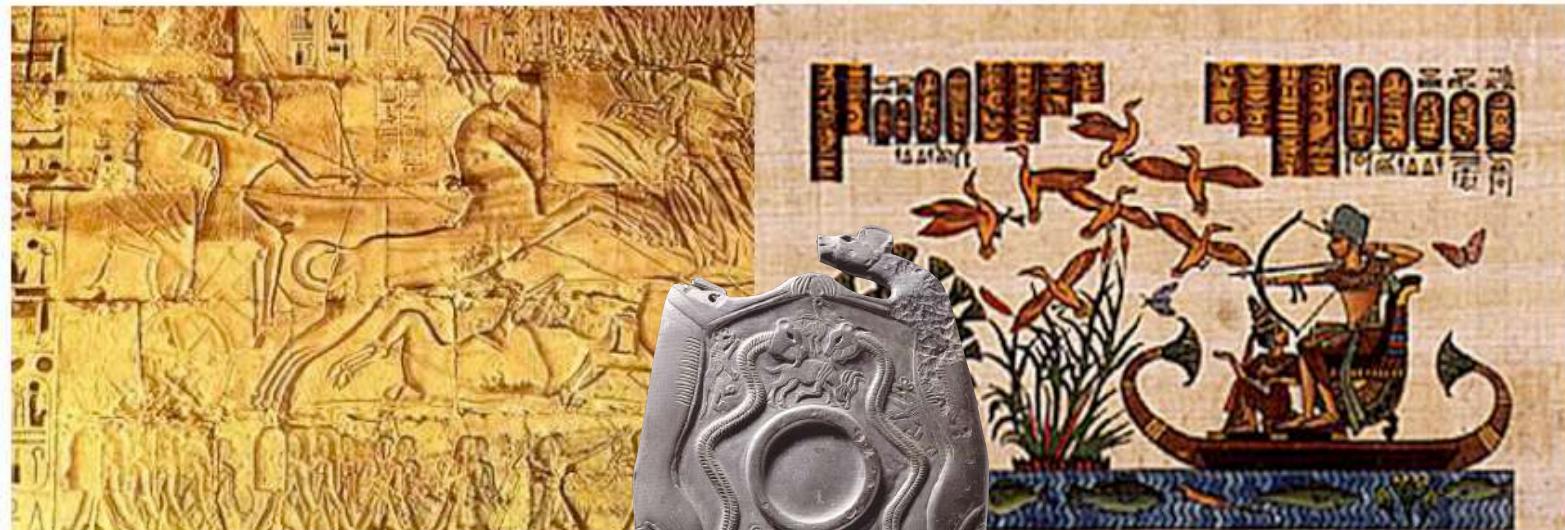


Uma pressão contínua (*press perturbation*):
população humana



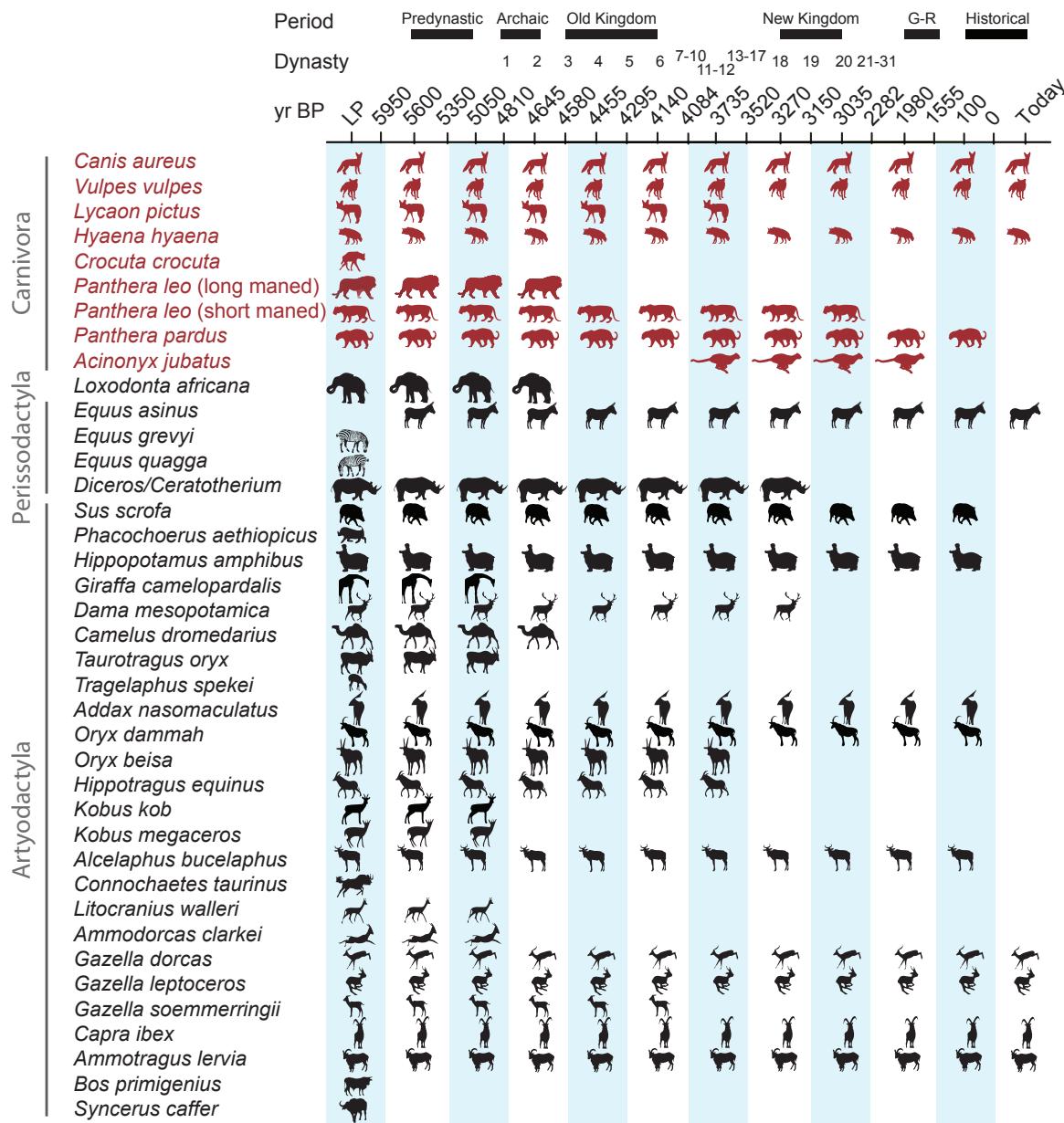






ENJOYS OF HUNTING.

Georg Ebers / Travelers in the Middle East Archive
Attribution 2.5 Generic License

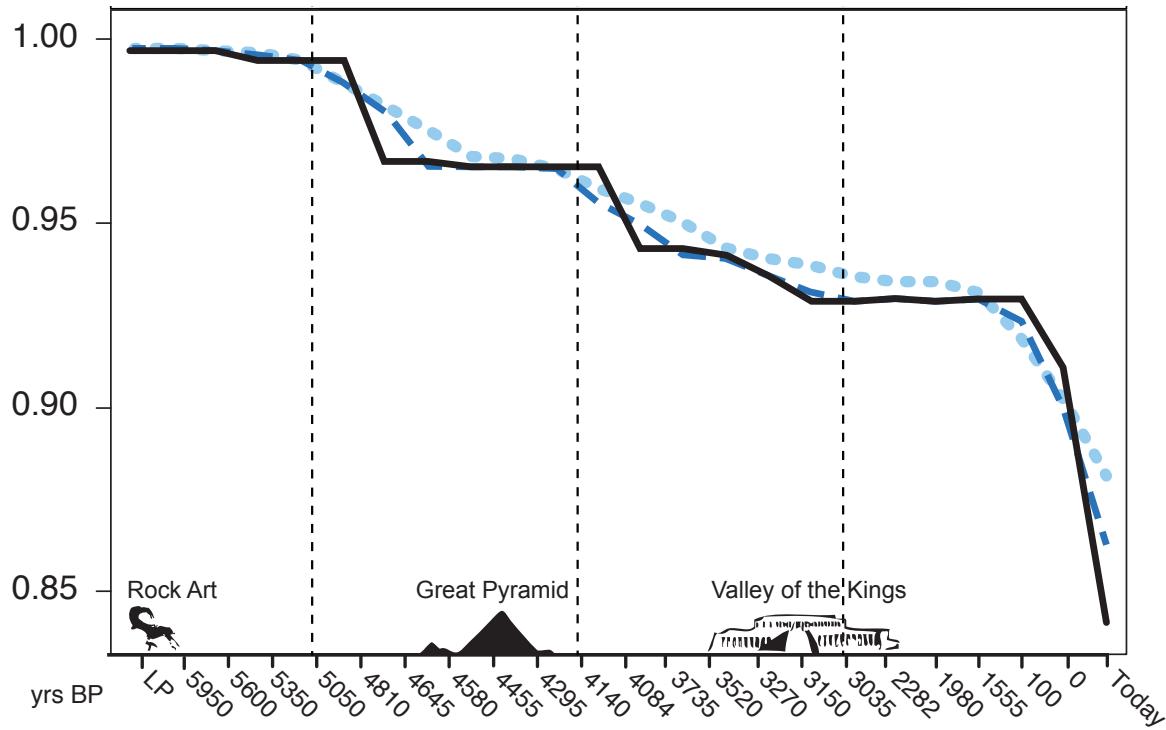


Integrando dados a modelos

1. *Dados:* arte, registros e arqueologia
2. *Estrutura:* modelo baseado na massa de presas e predadores
3. *Dinâmica:* equações diferenciais
4. *Perturbação:* contínua (*press perturbation*)

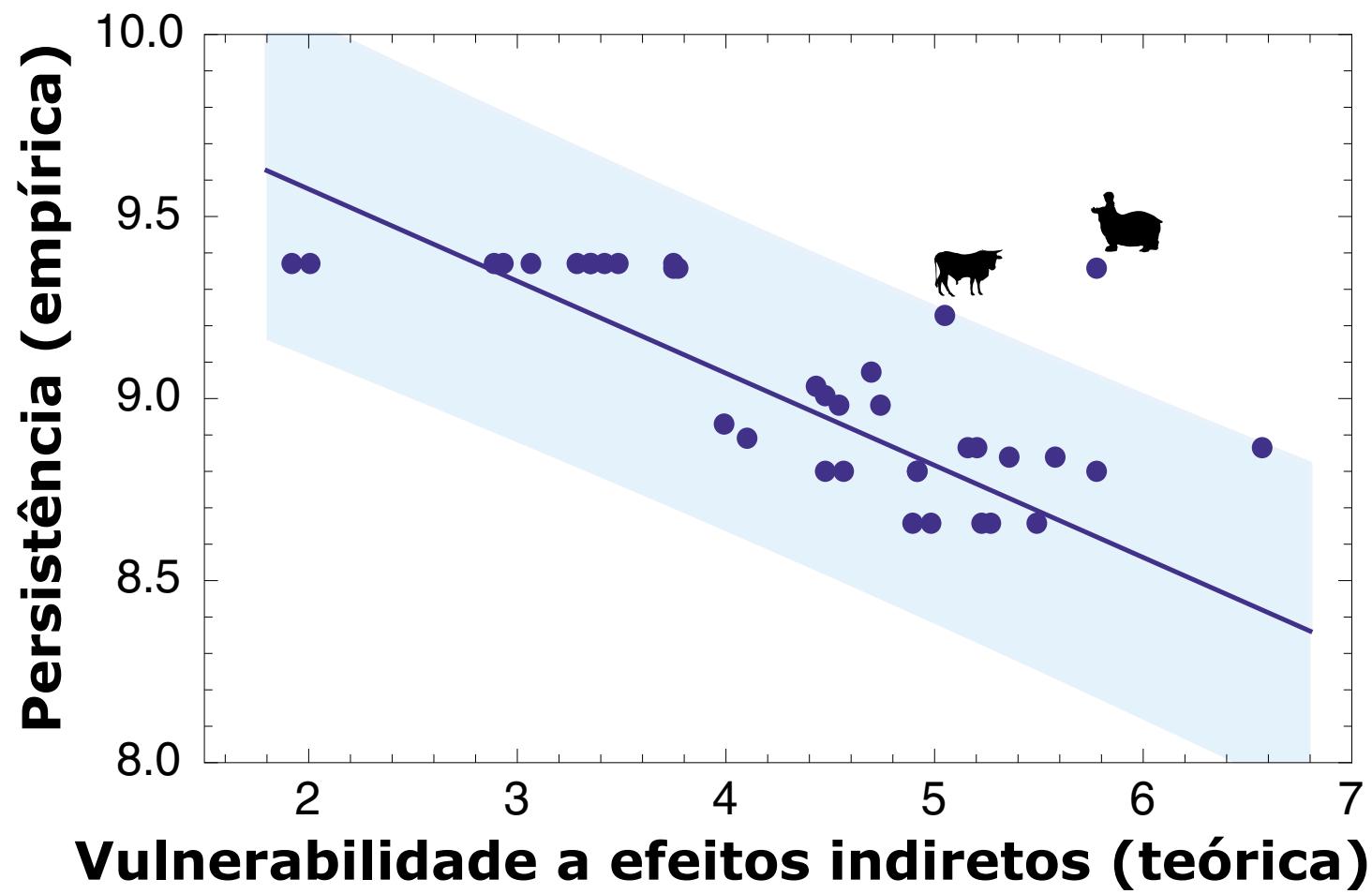
Modelos generalizados e redes teóricas

Proporção de redes ecológicas estáveis



Yeakel et al. 2014 - PNAS

Colapso dos herbívoros



Yeakel et al. 2014 - PNAS

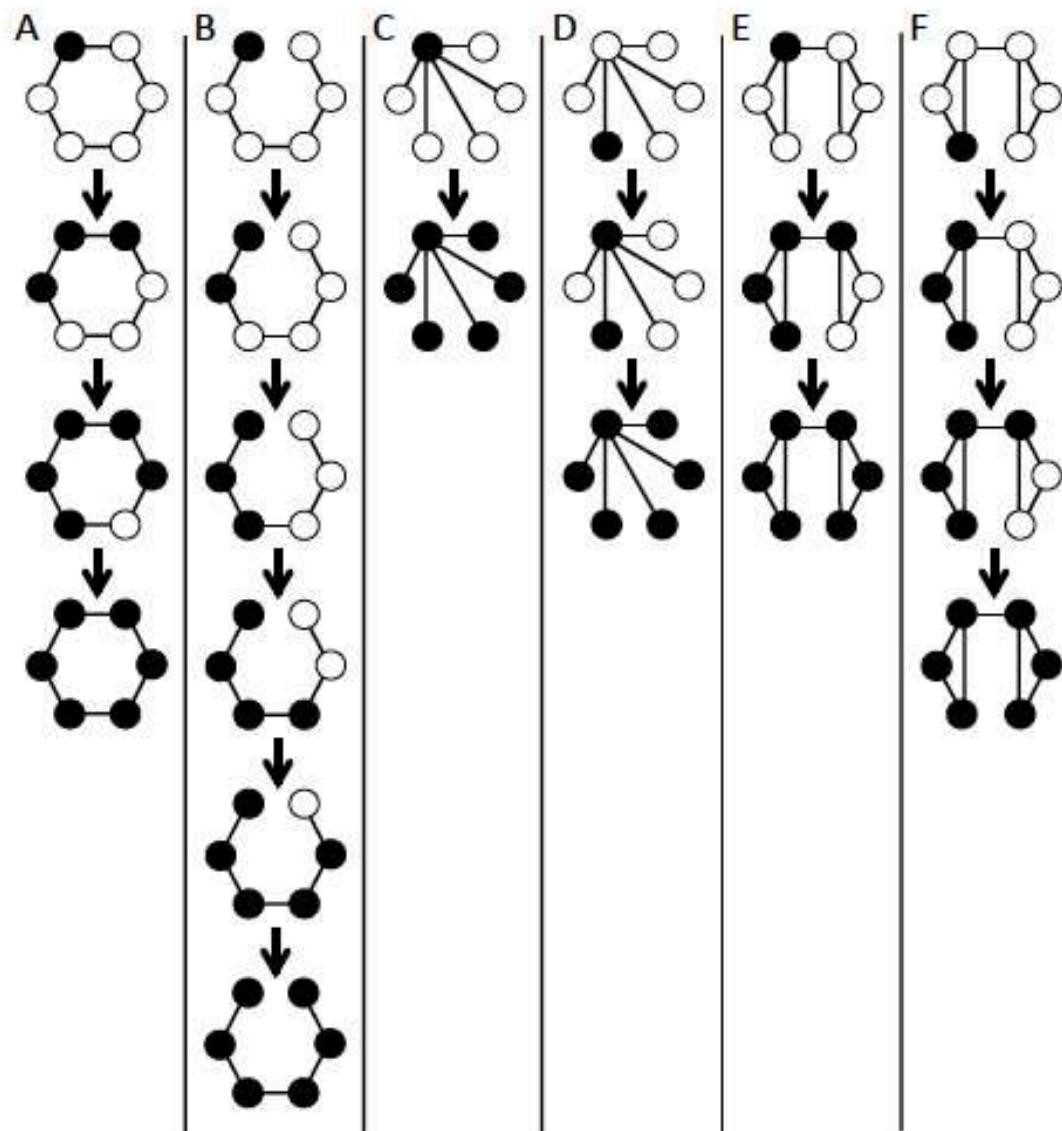
Percolação

Comportamento coletivo

- percōlāre (filtrar)
- O sistema permite a propagação de algo
- Espalhamento
- Densidade



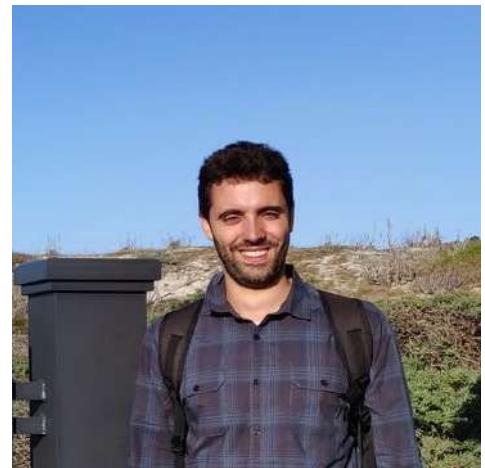
Fire



Jean P. Gibert

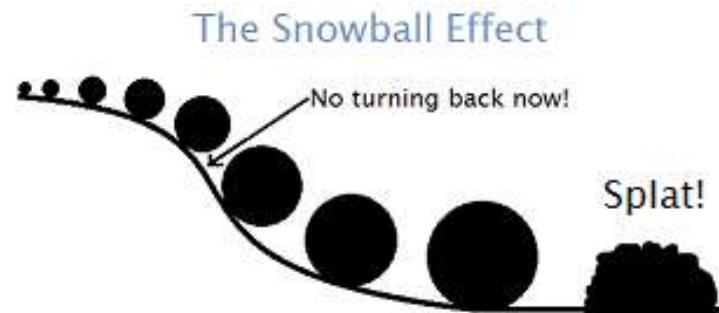
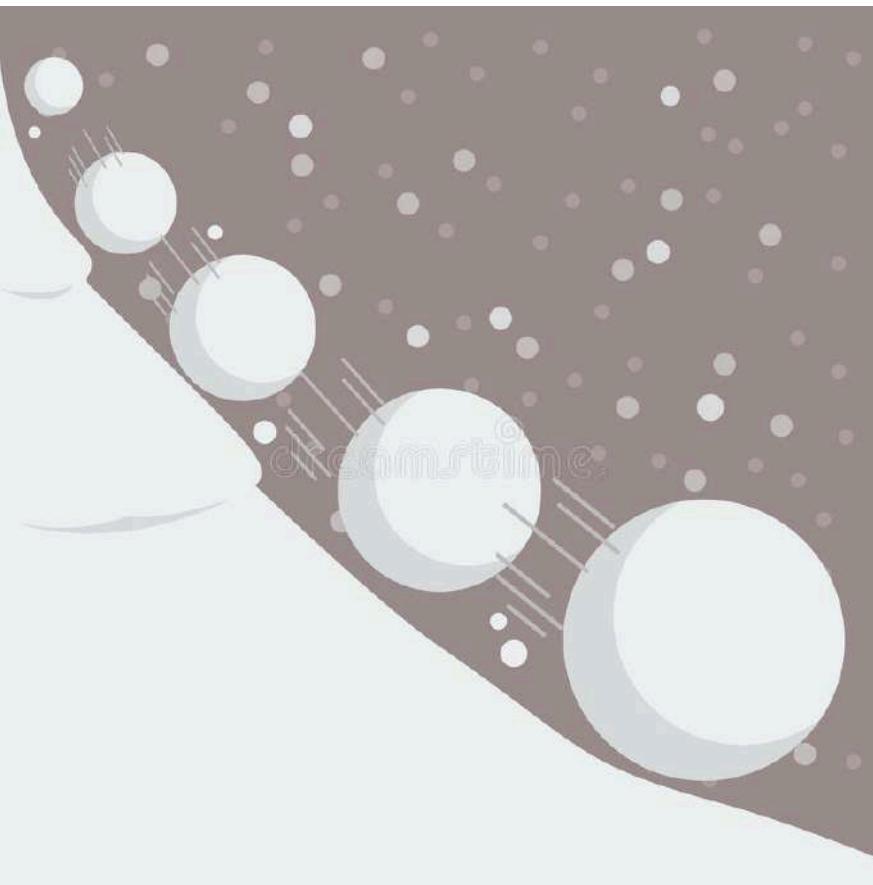
Três dinâmicas

- Efeito fraco: pontos isolados
- Efeito médio: a estrutura da rede importa
- Efeito muito forte: a estrutura é apagada (a rede transborda)



Lucas Medeiros

Efeito bola-de-neve



Redes Booleanas

- Cada ponto tem um estado (ligado/desligado)
- O estado depende do estado dos outros pontos da rede
- As regras são funções lógicas (Booleanas)

Par Booleano: um exemplo

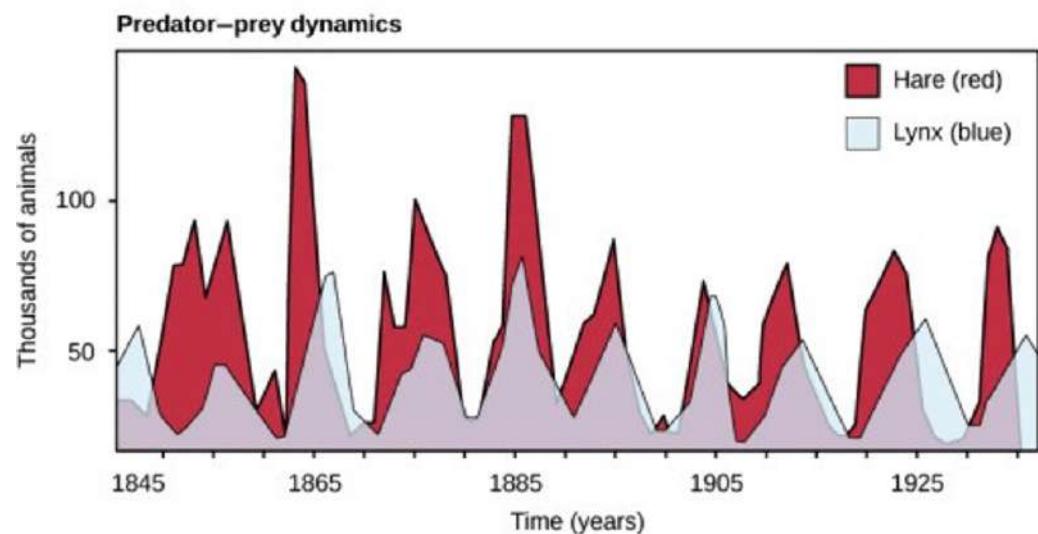
- Se o lince está ligado, lebre desliga
- Se a lebre está desligada, lince desliga
- Se o lince está desligado, a lebre liga
- Se a lebre está ligada, o lince liga



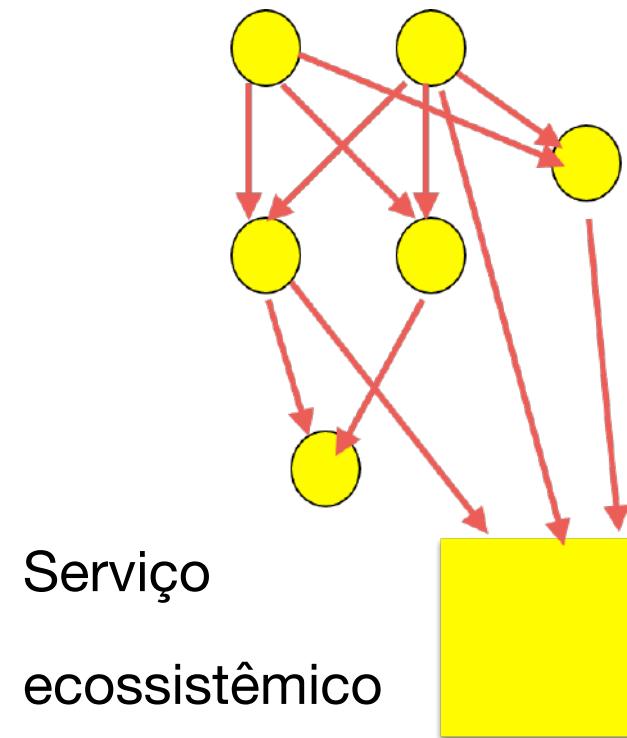
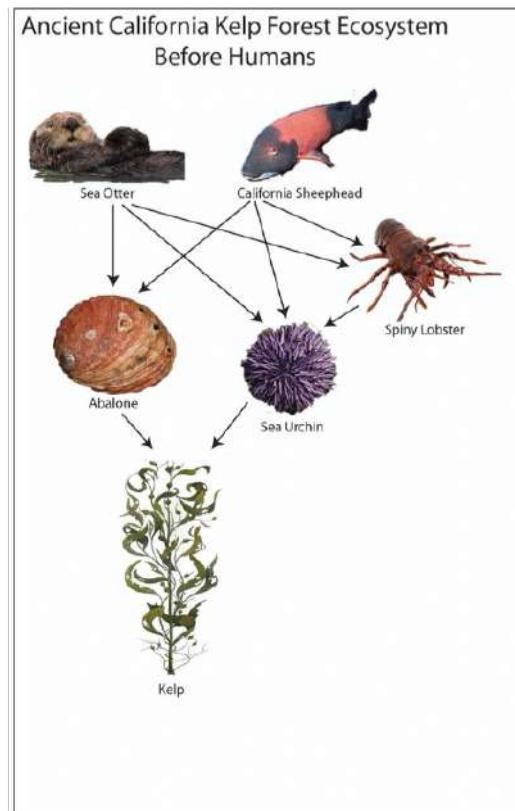
Lynx canadensis



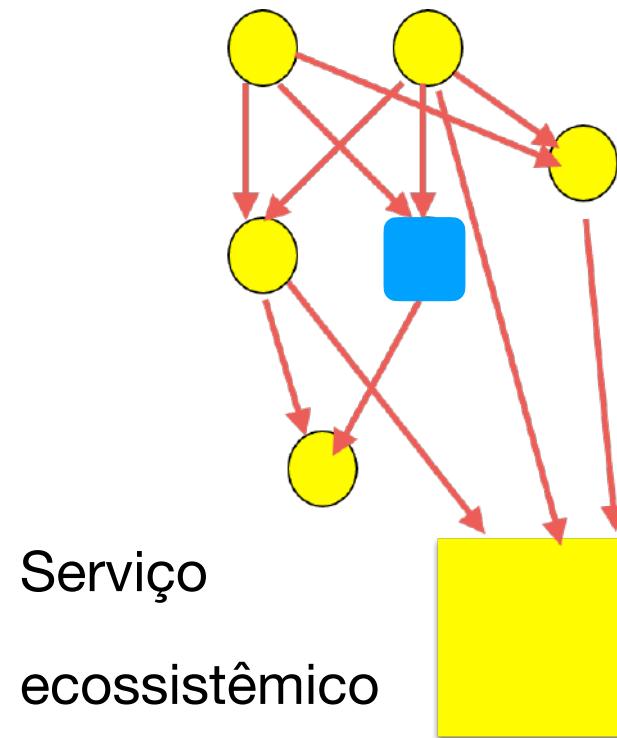
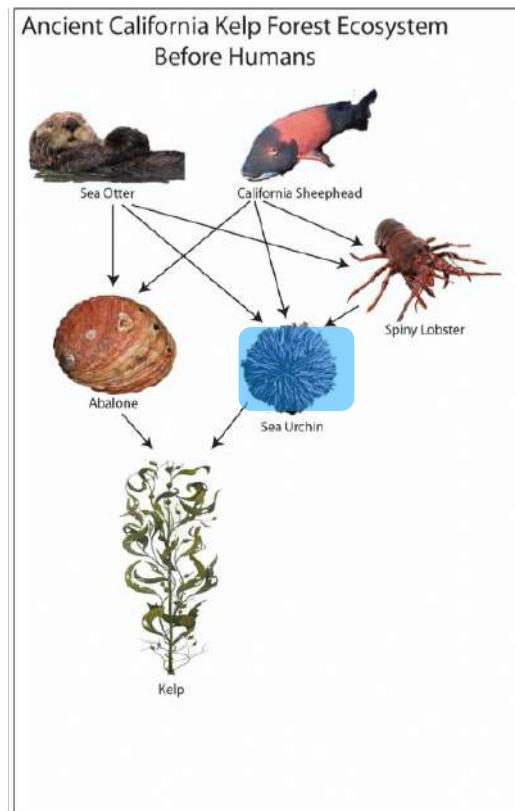
Lepus americanus



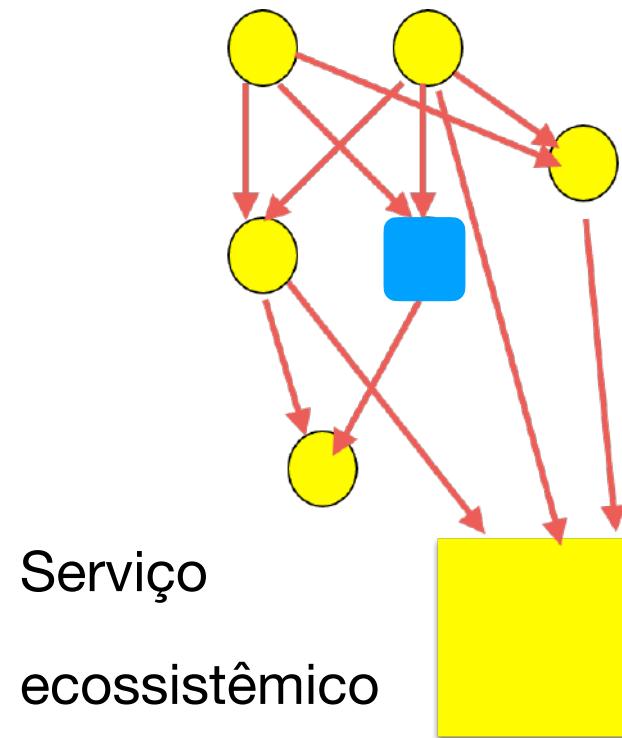
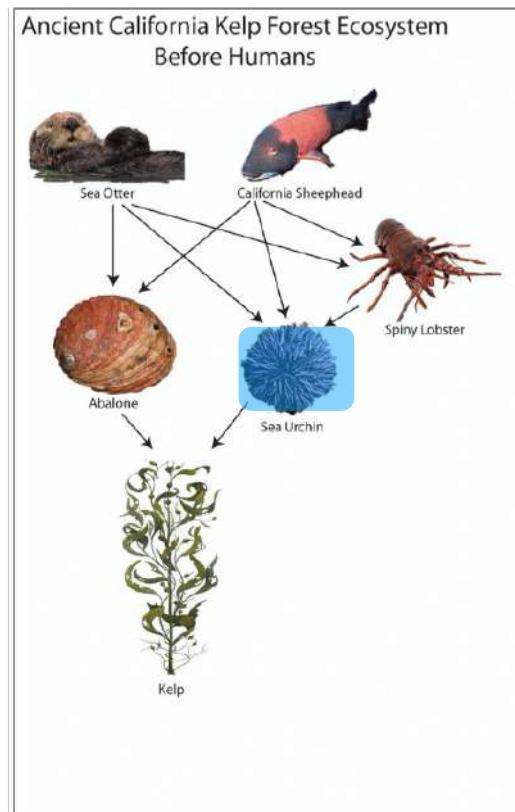
Redes Booleanas: um exemplo



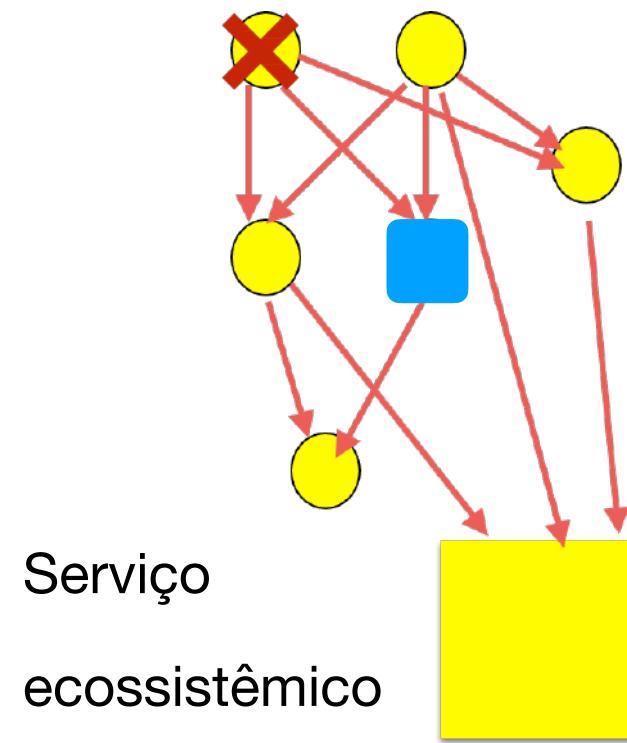
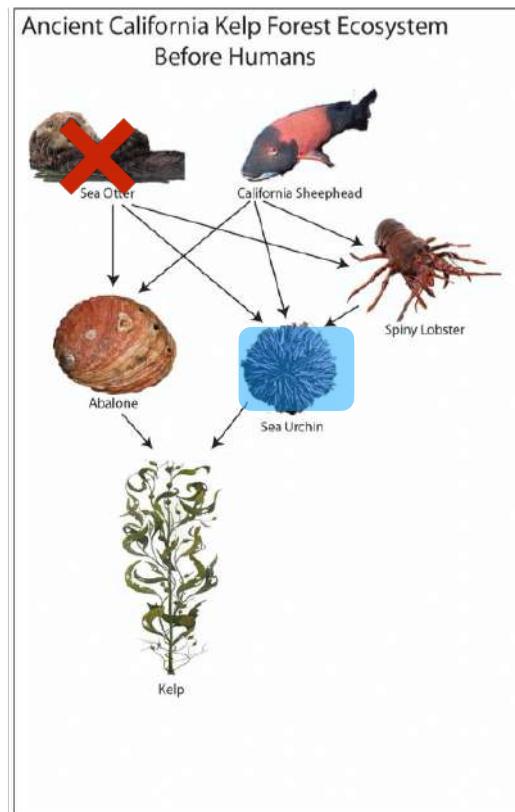
Equilíbrio estável na natureza



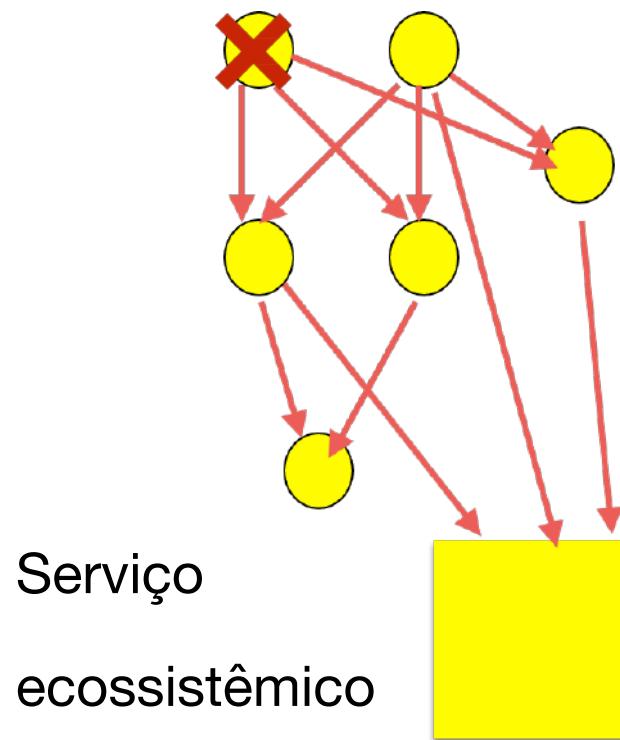
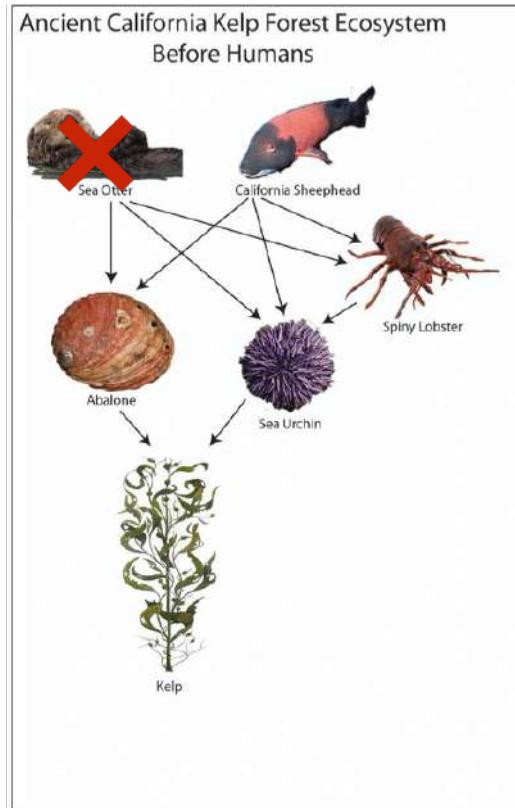
Equilíbrio estável na natureza



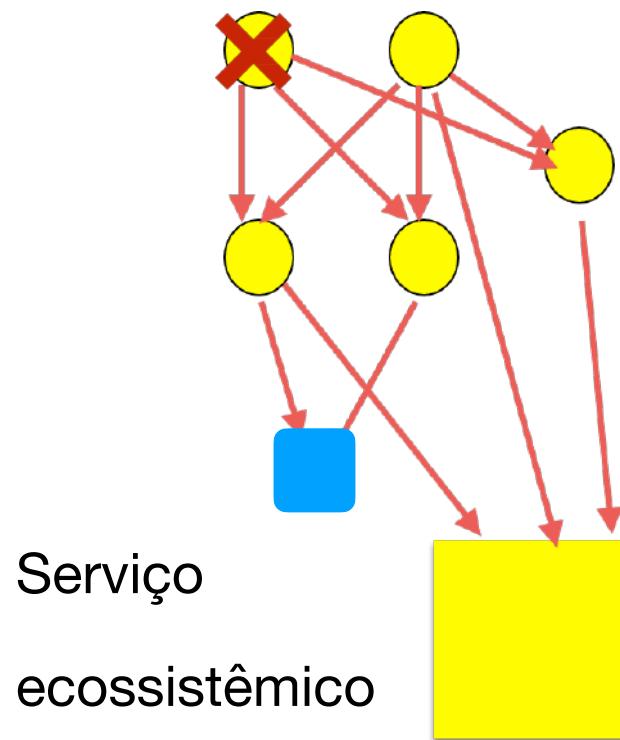
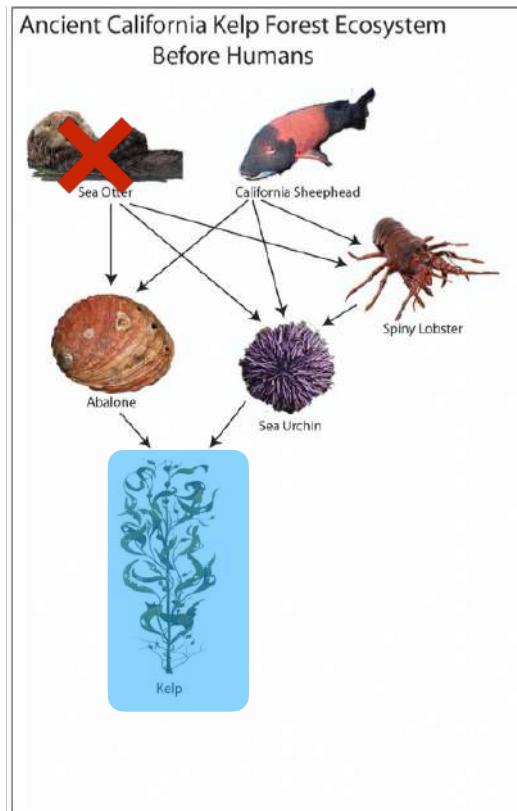
Extinção da lontra-marinha



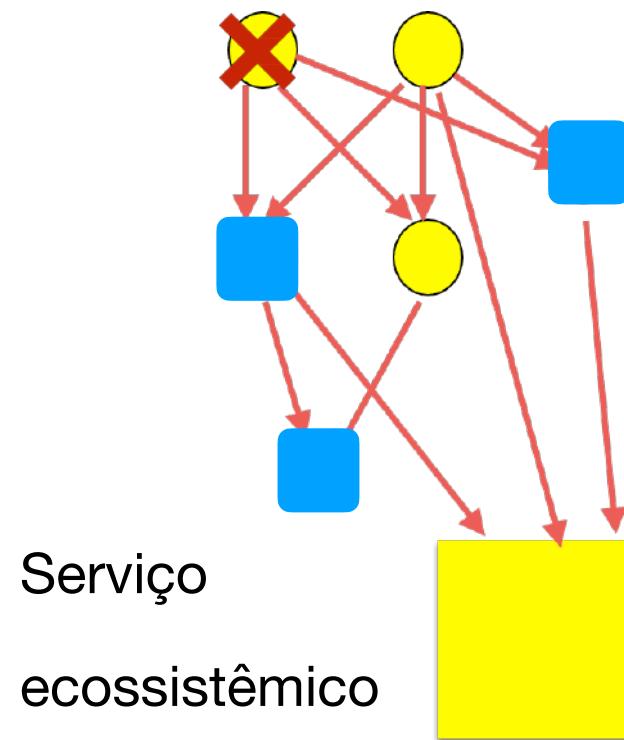
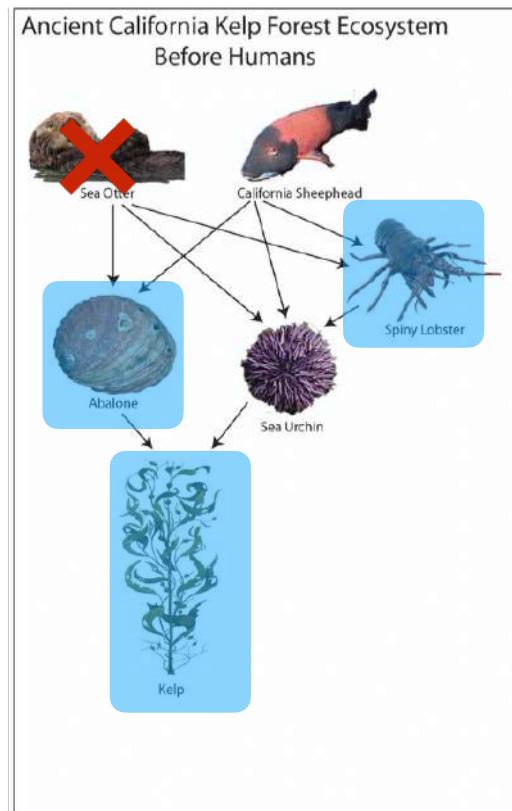
Explosão da população de ouriços



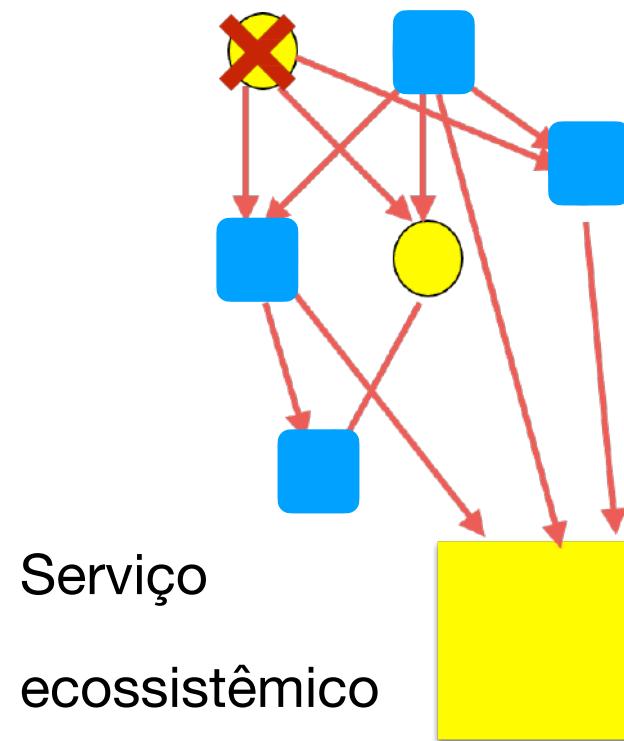
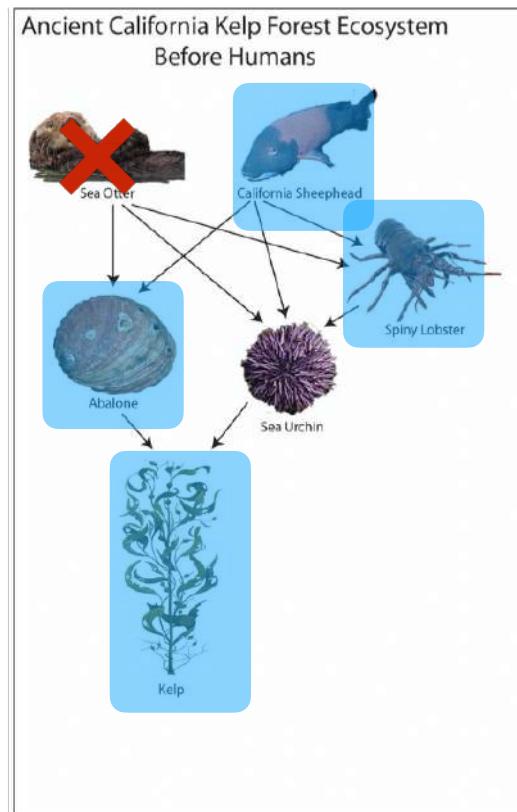
Colapso das Kelps



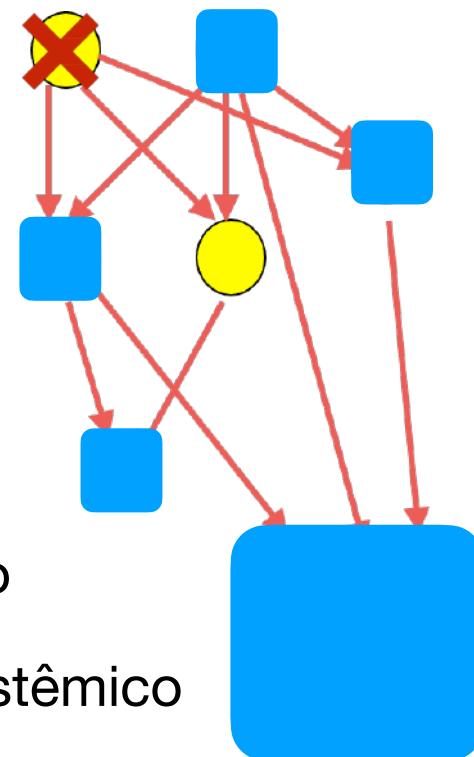
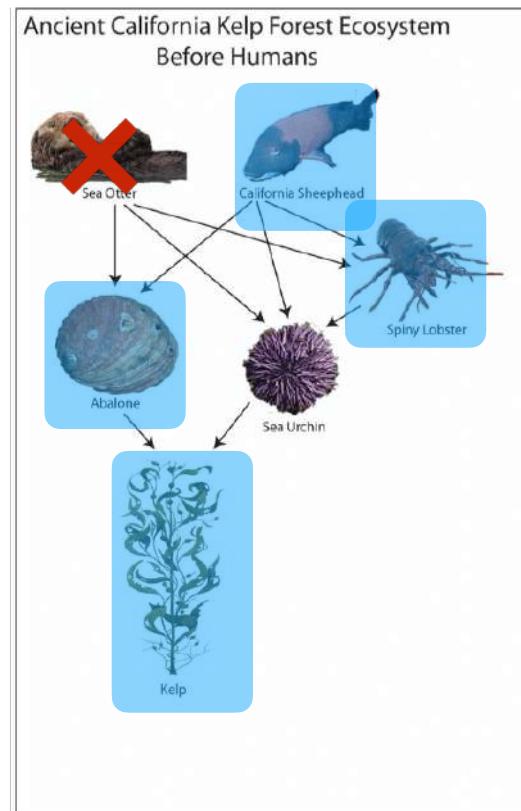
Extinção de espécies por perda de habitat



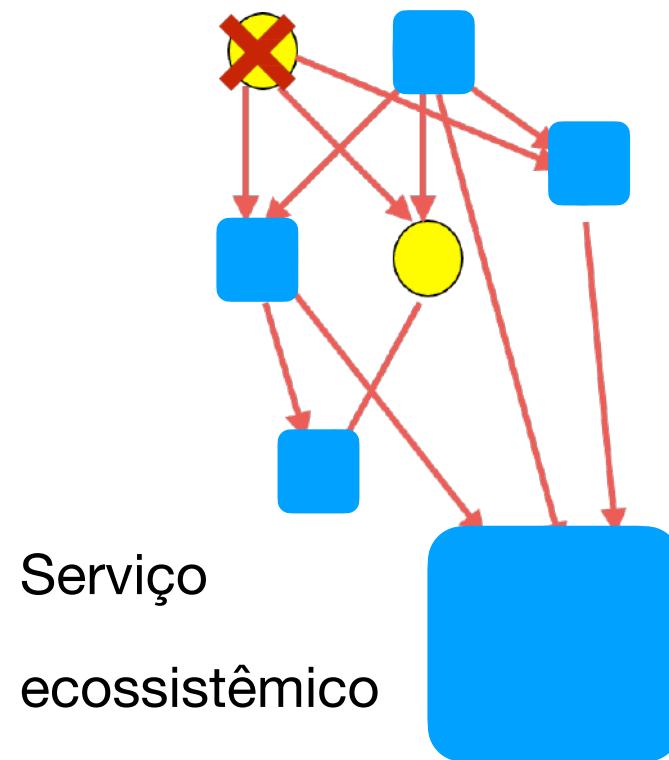
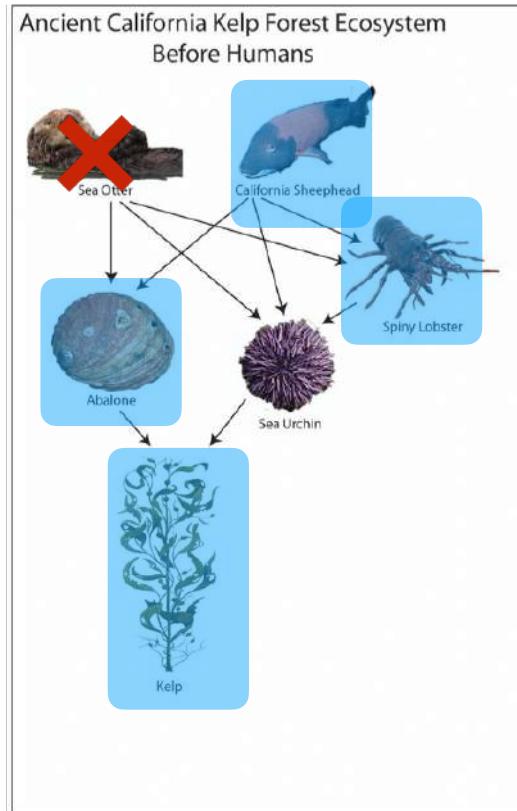
Perda do predador de topo por falta de recurso



Fim da provisão de alimento para populações humanas

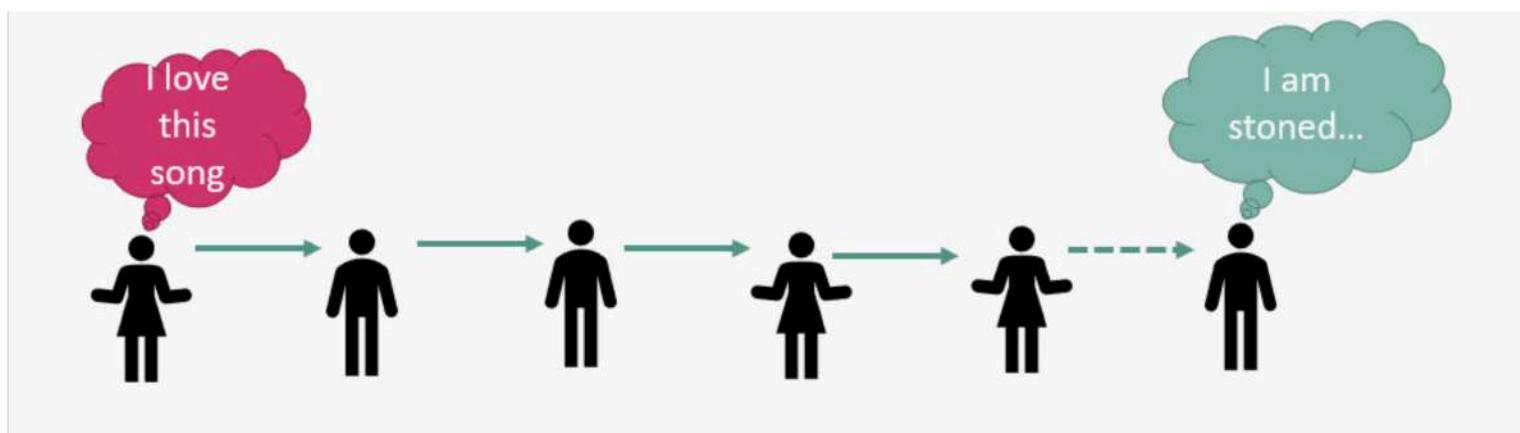


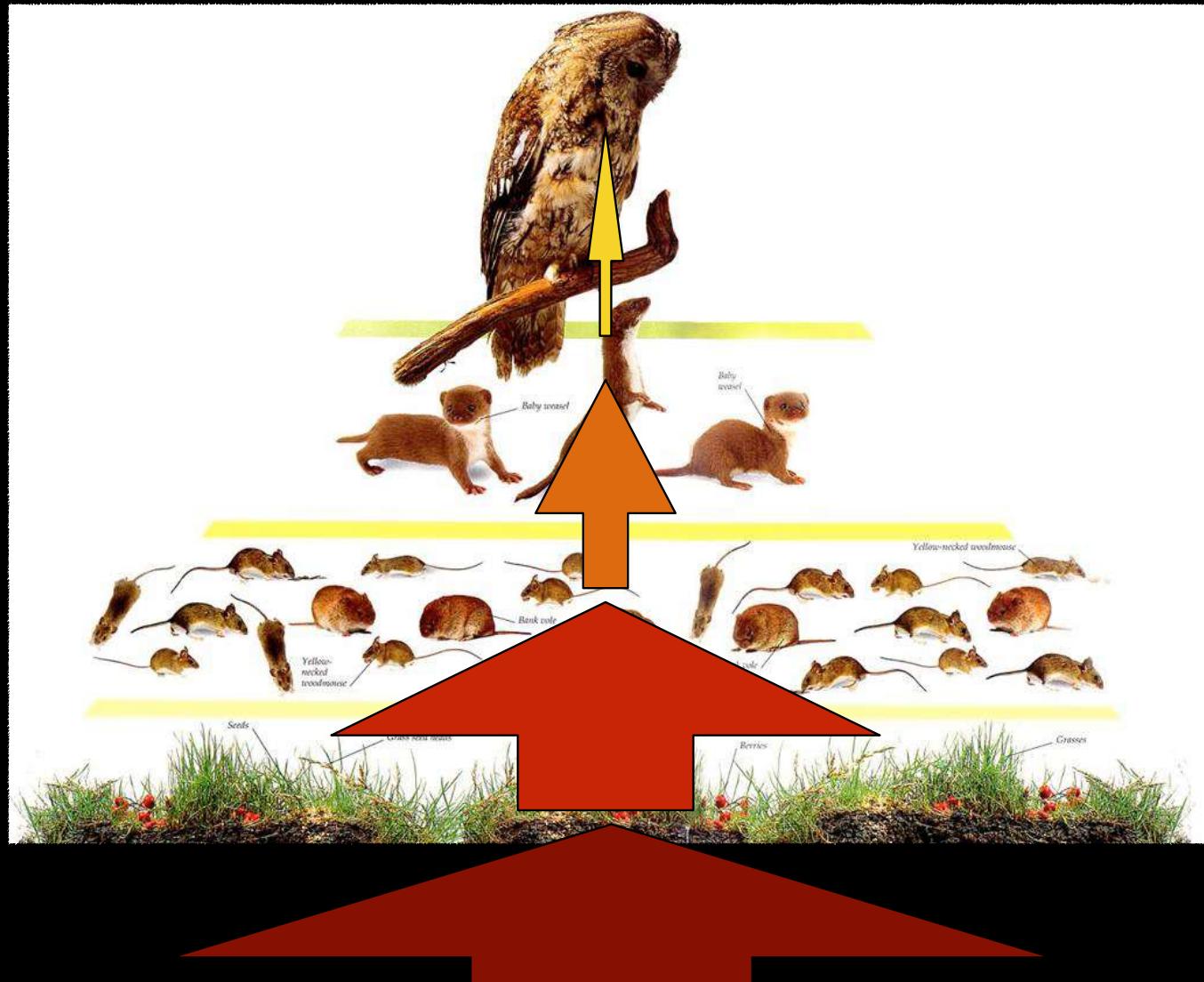
Serviço
ecossistêmico



Efeitos telefone-sem-fio

- Sistemas dissipativos



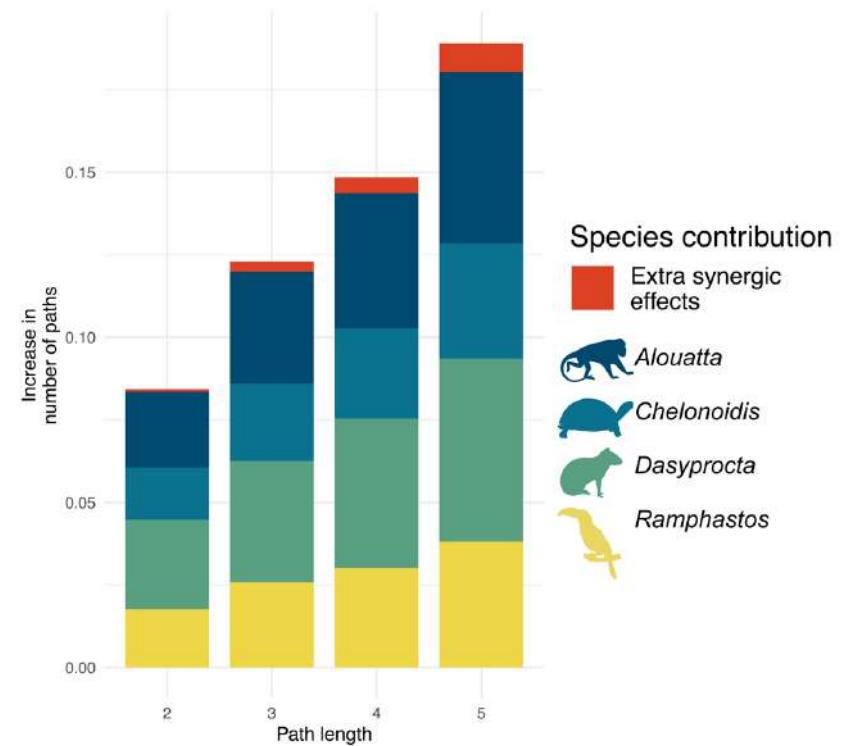
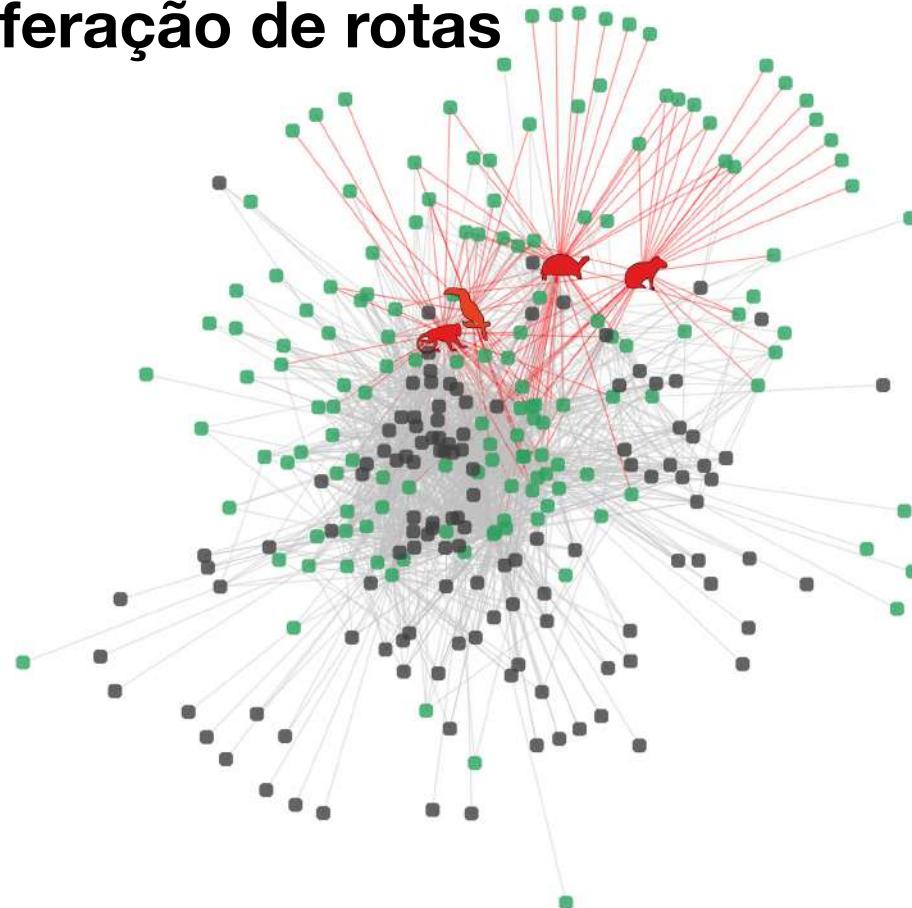


Estimando efeitos indiretos

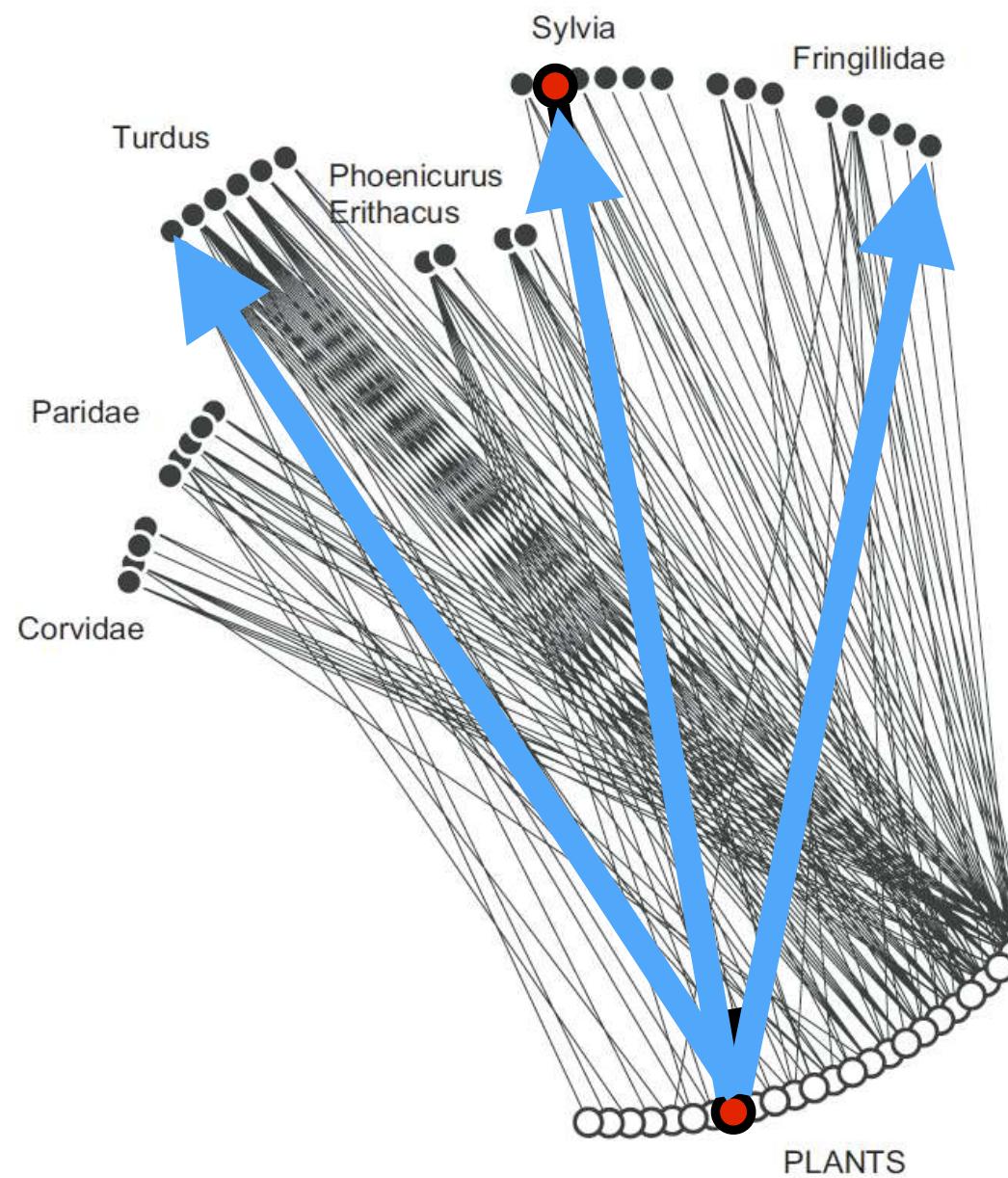
- Sistemas dissipativos
- Proliferação de rotas

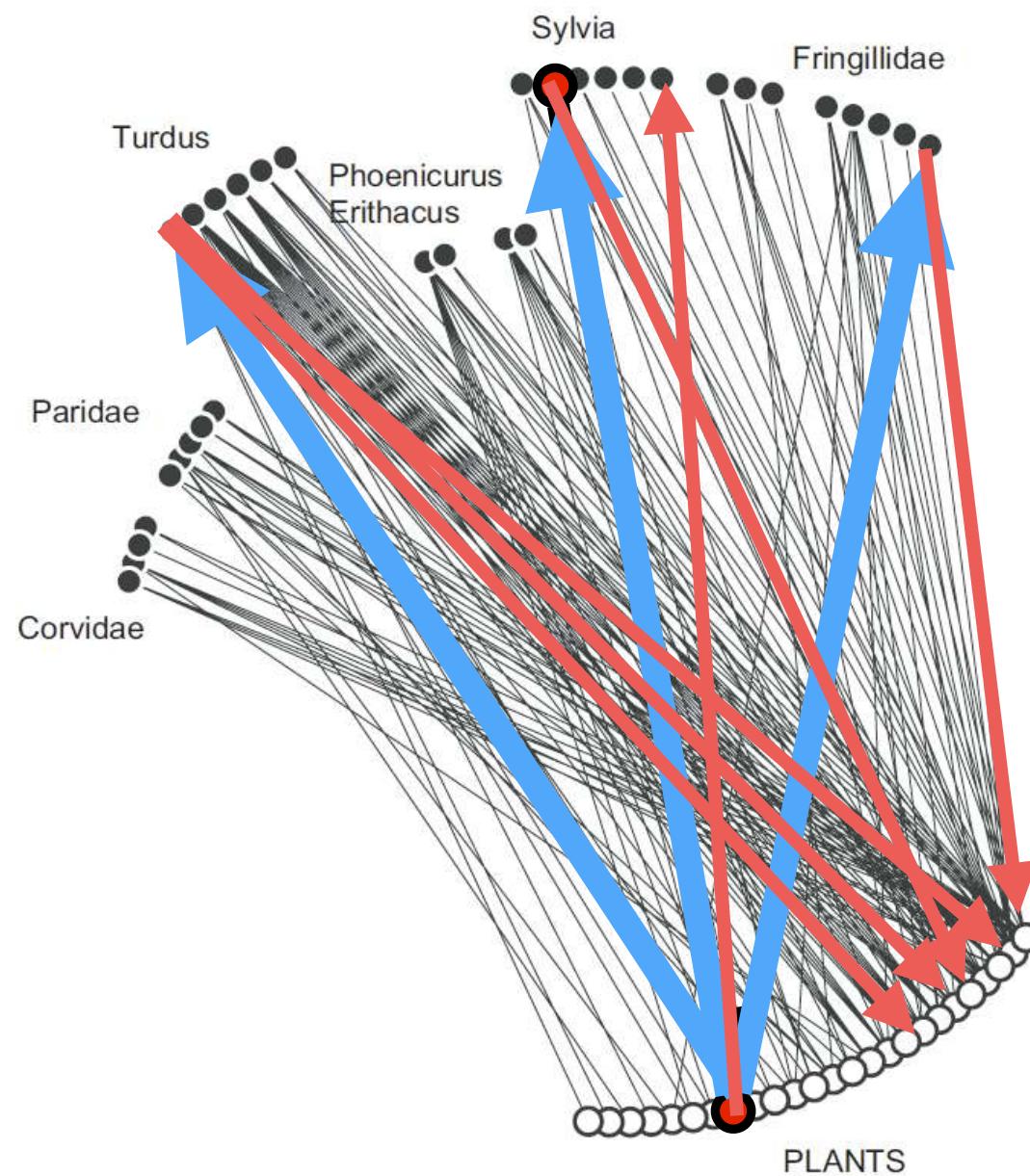
Caminhos indiretos

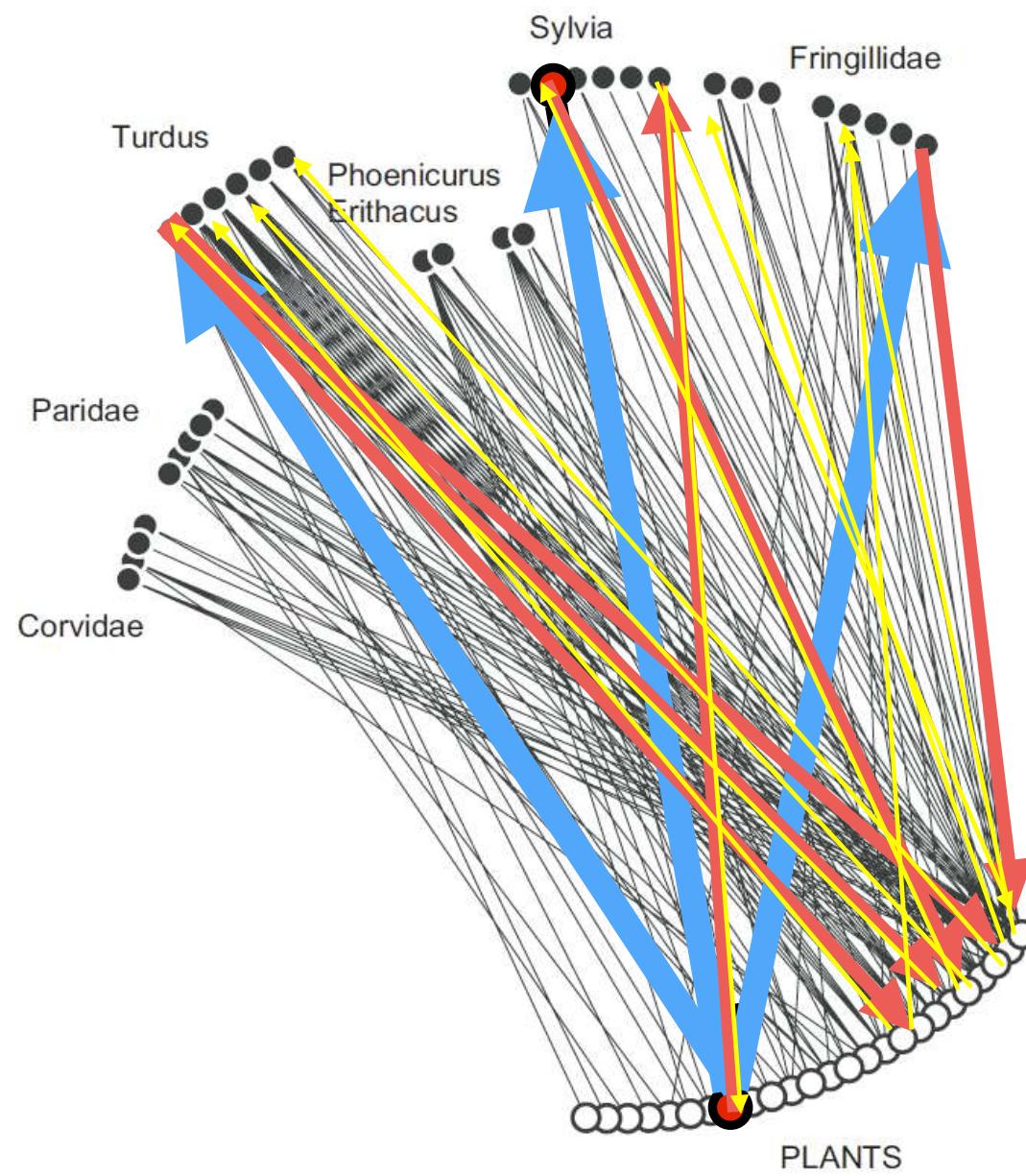
A proliferação de rotas

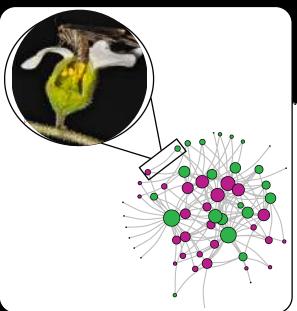


Mittelman et al. 2022. Oikos

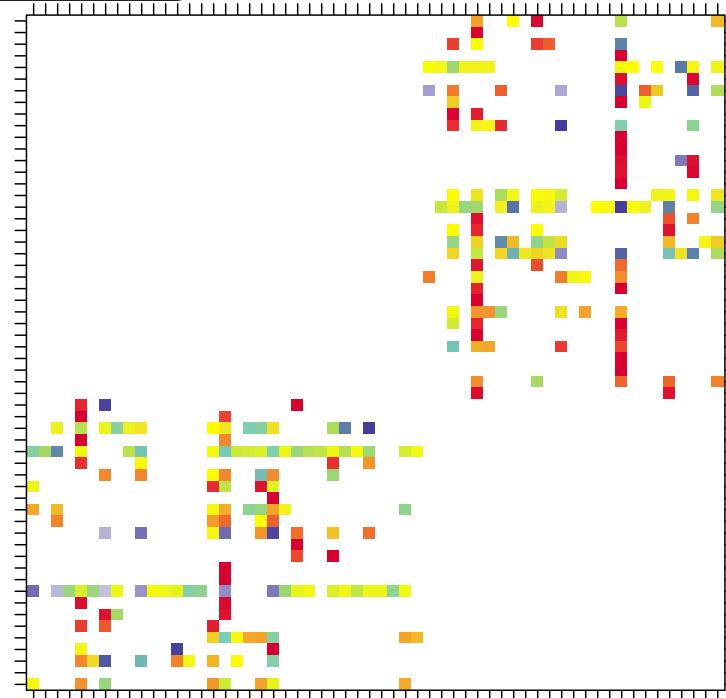




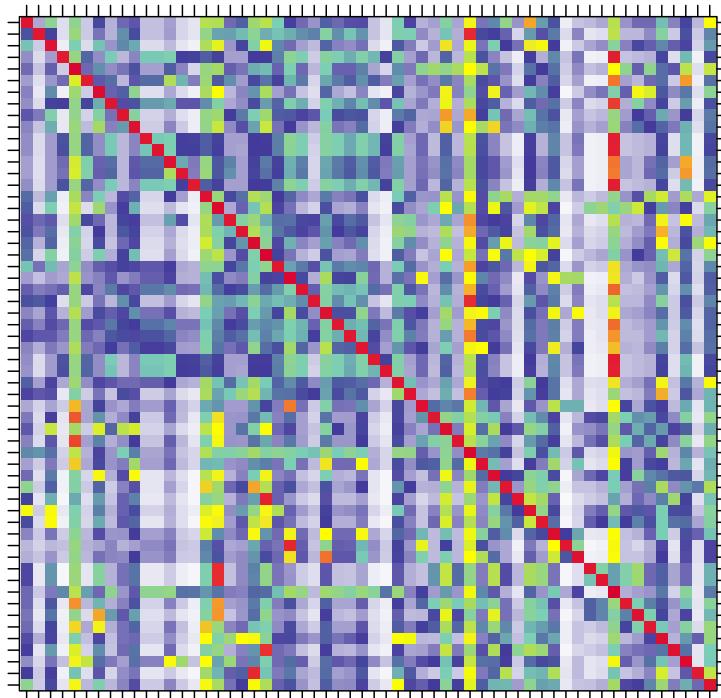




Q



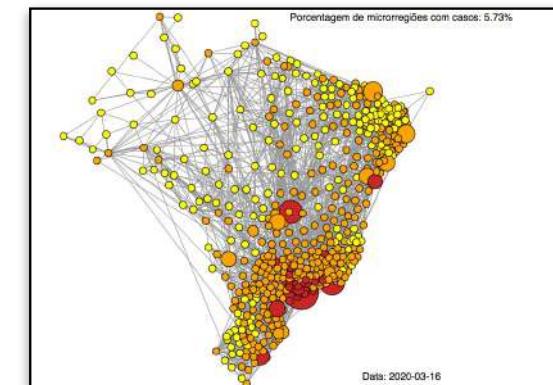
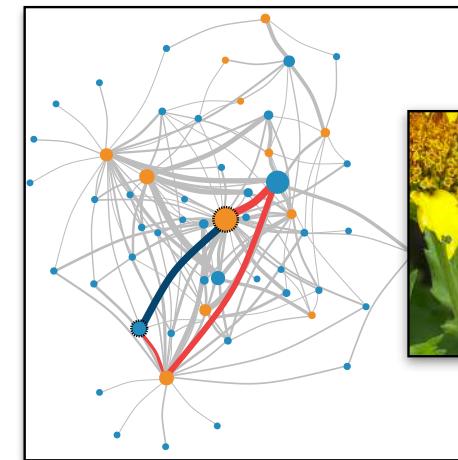
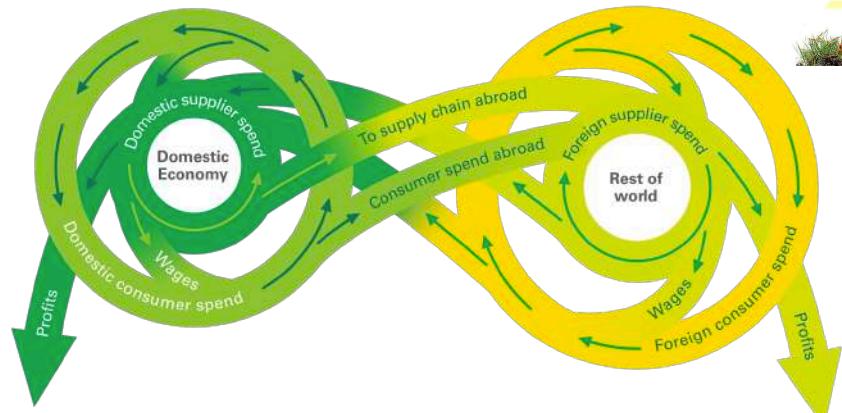
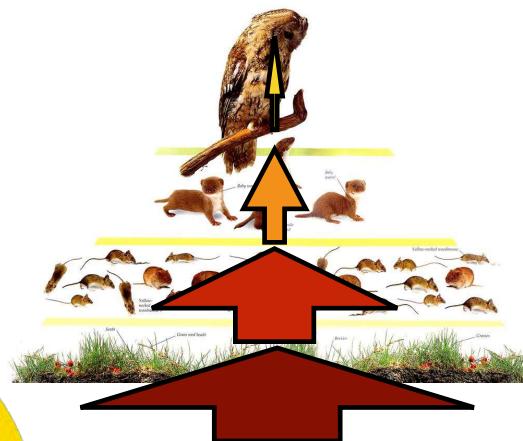
$$T = (I - Q)^{-1}$$



Esse resultado é geral para sistemas dissipativos



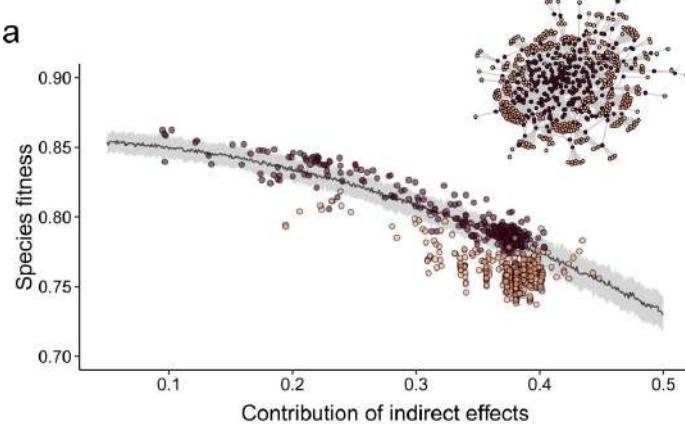
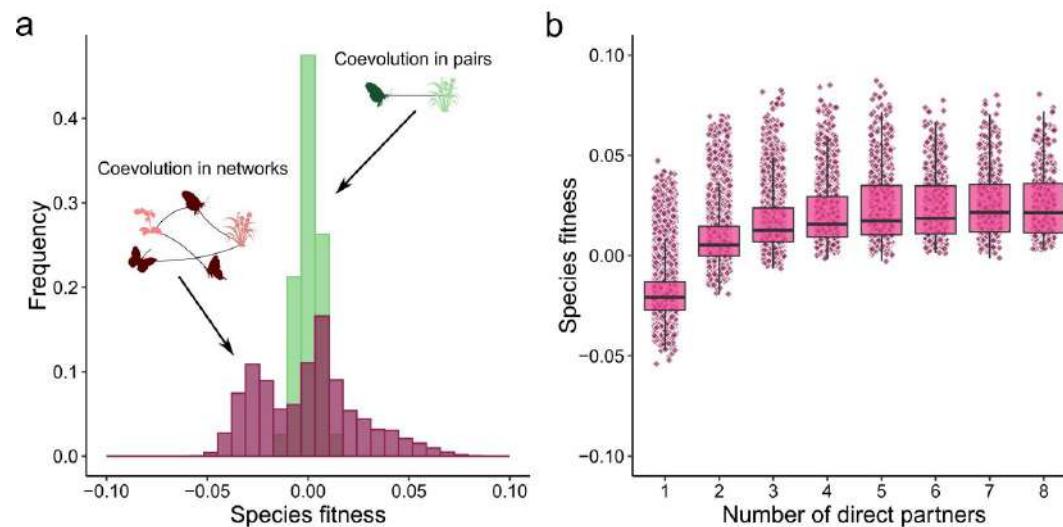
$$(I - Q)^{-1}$$



OBSERVATÓRIO
COVID-19 BR



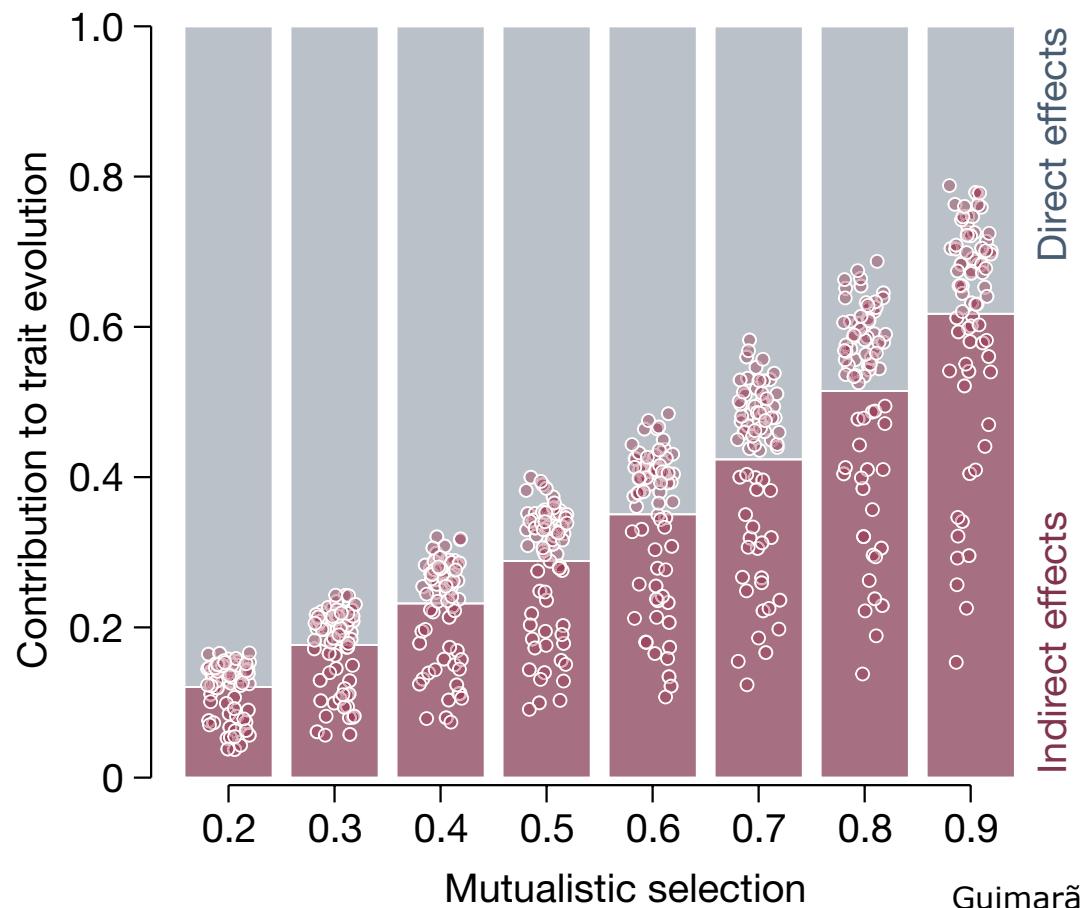
Essas rotas podem influenciar a aptidão



Cosmo et al. 2023. Nature

Teoria como um mapa e uma prova de conceito

Efeitos indiretos ocorrem na natureza?



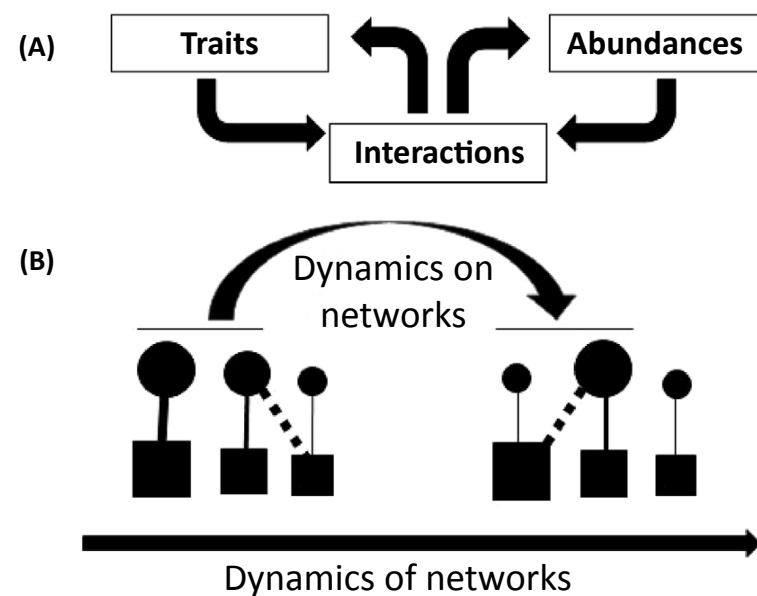
Guimarães et al. 2017. Nature

Aula 3: Dinâmica

- Dinâmica (em redes) : uma introdução
- Dinâmica da rede
- Dinâmica na rede
- **Redes adaptativas**
- Resumo

Redes adaptativas

- Dinâmica na rede influencia a dinâmica da rede
- Dinâmica da rede influencia a dinâmica na rede



Rafael Raimundo



© Terry Sohl

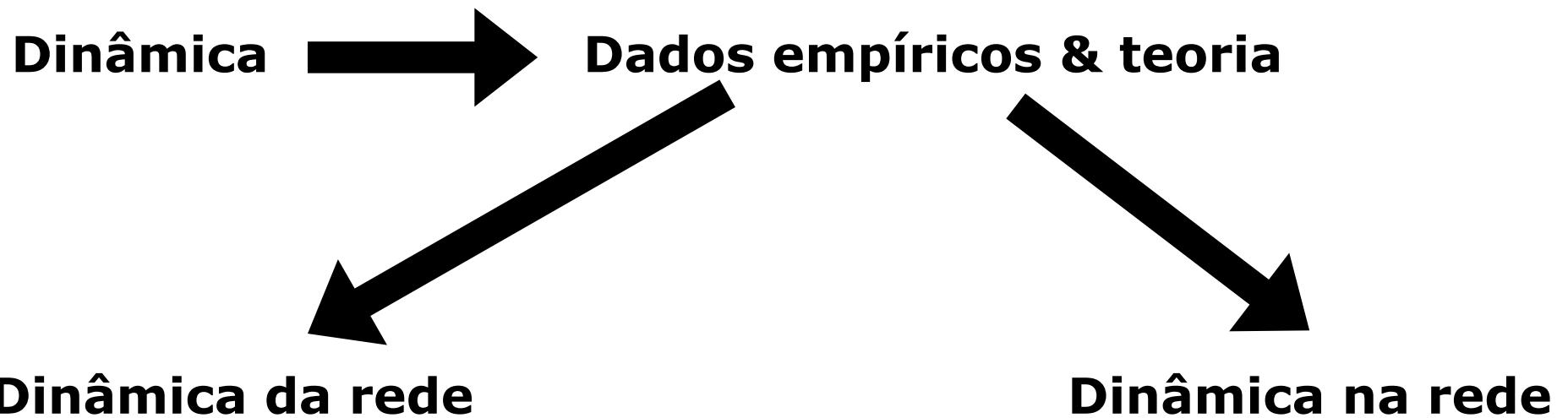


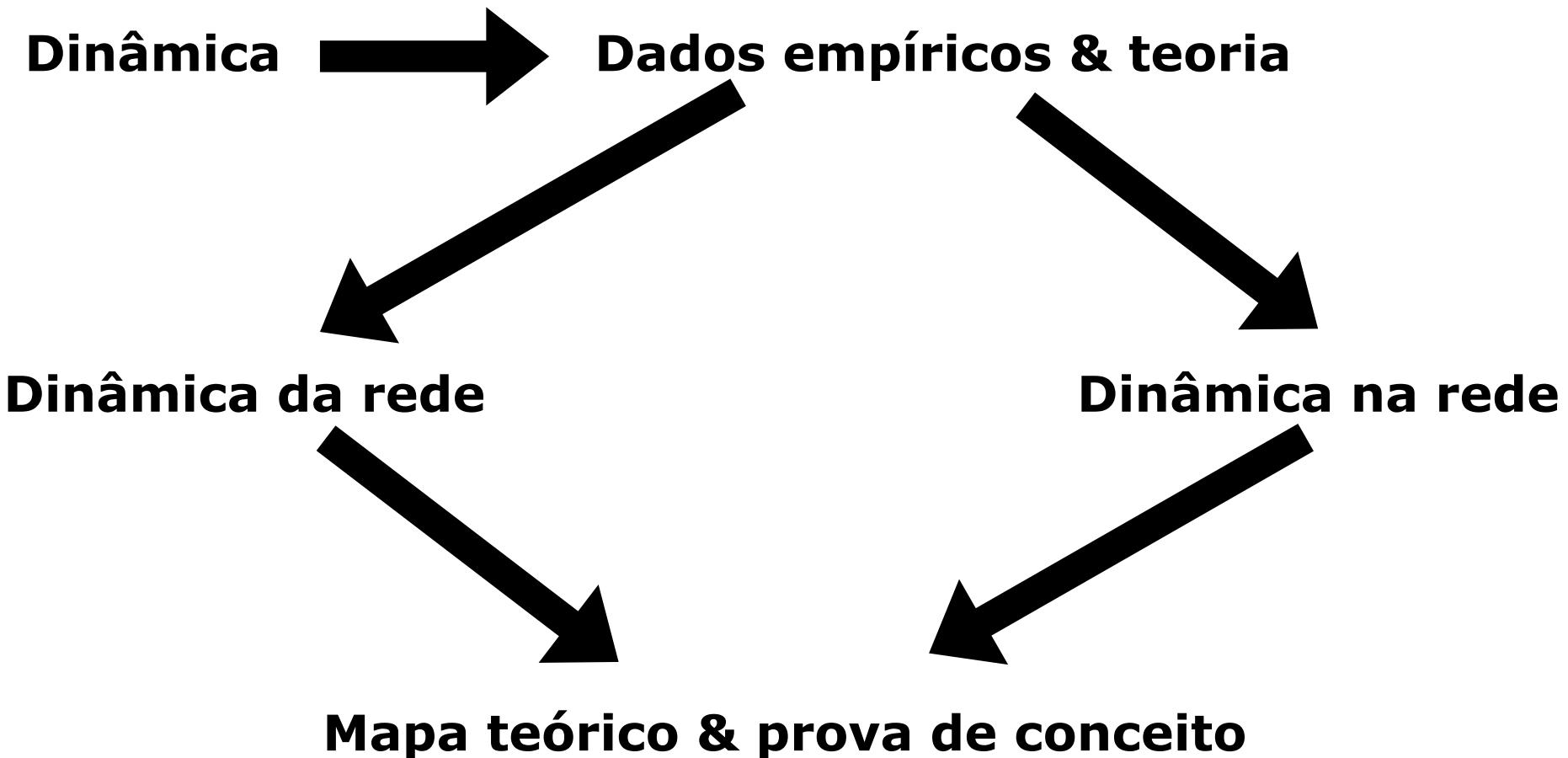
Lucas Camacho

Aula 3: Dinâmica

- Dinâmica (em redes) : uma introdução
- Dinâmica da rede
- Dinâmica na rede
- Redes adaptativas
- **Resumo**

Dinâmica → **Dados empíricos & teoria**





Para saber mais

- Roteiros para exercícios
- Artigos citados
- Tutorial para desenhar redes

