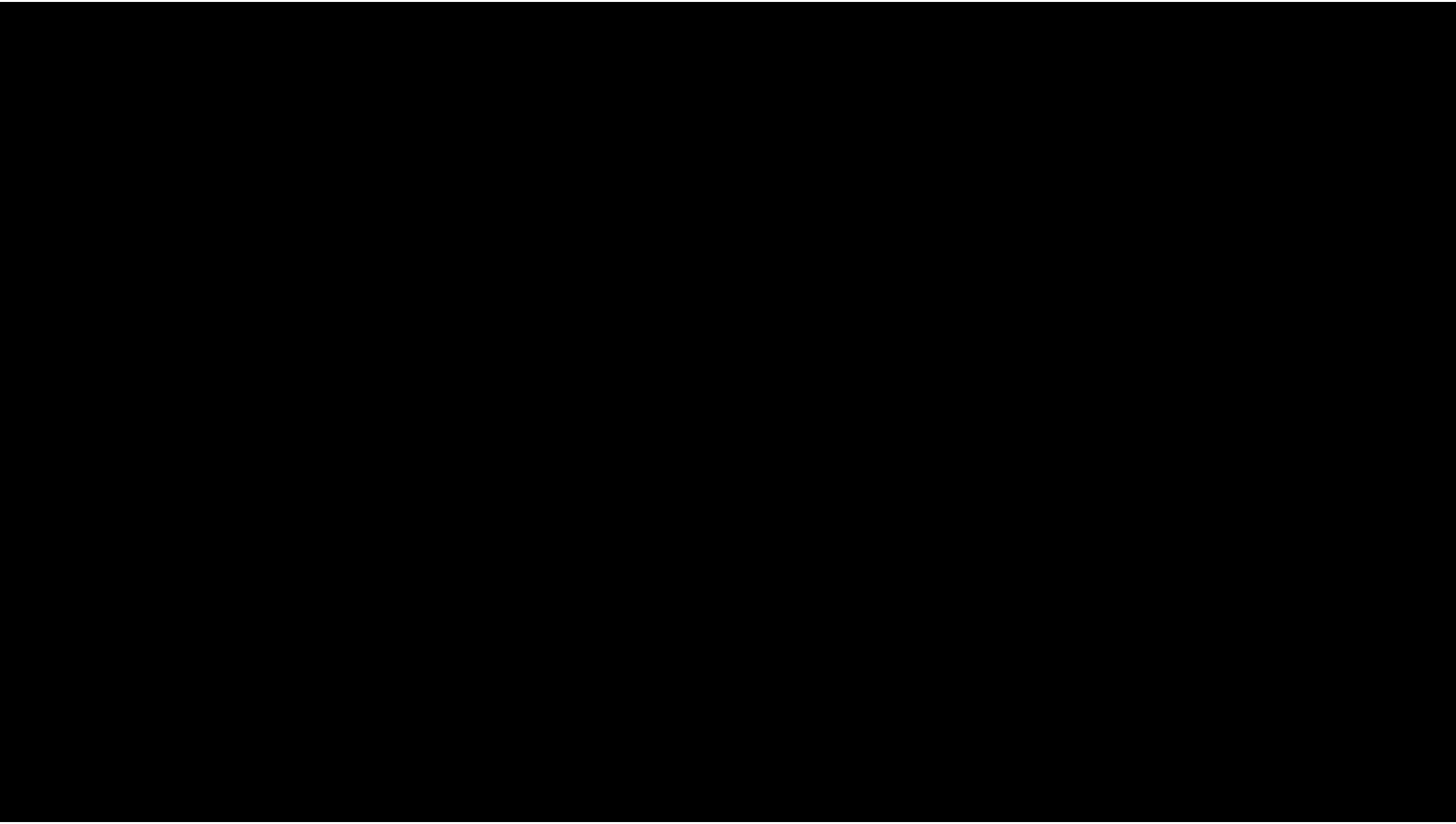
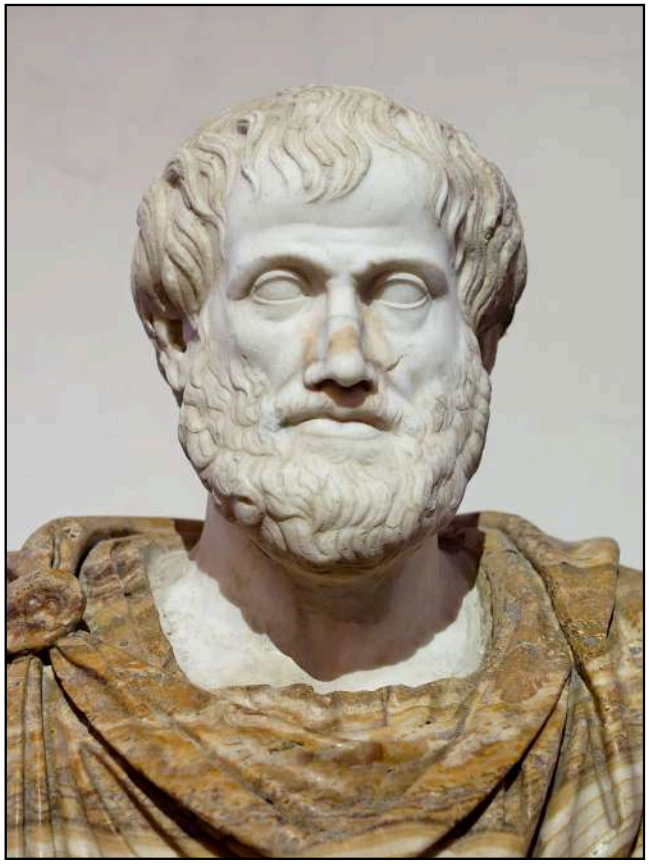


Descrição de padrões



None of the arts theorize about individual cases…

individual cases are so infinitely various that no systematic knowledge of them is possible.

Rhetoric, ~23 centuries ago

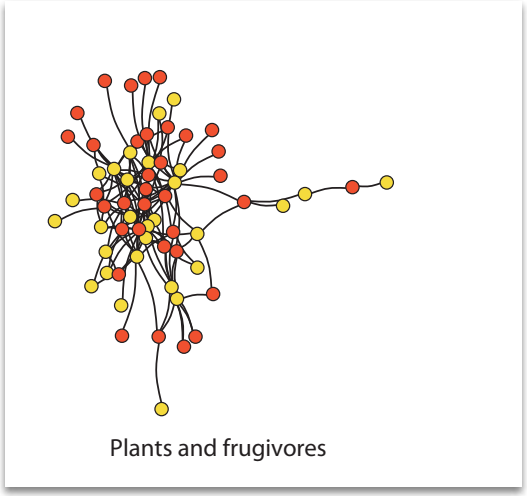
Padrões estruturais

Possibilidades infinitas

JP Krajewski

31 espécies de plantas

21 espécies de vertebrados



Padrões estruturais

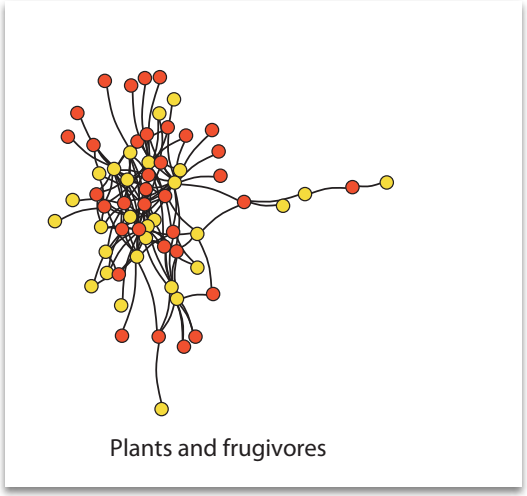
Possibilidades infinitas

JP Krajewski

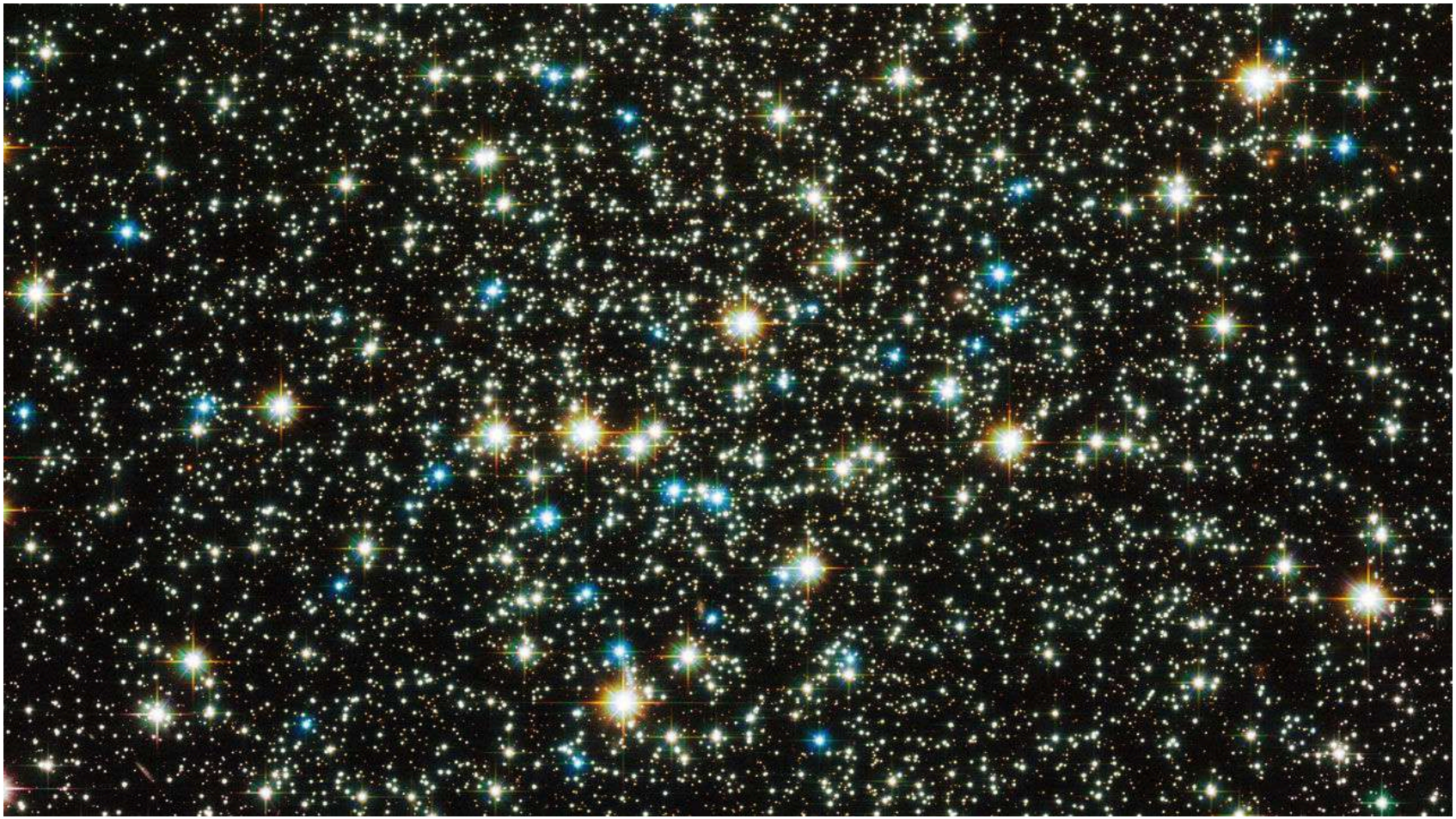
31 espécies de plantas

21 espécies de vertebrados

$2^{651} = 10^{196}$ possíveis interações



10^{196} interações possíveis >>> 10^{79} elétrons no universo



Aula 2: Estrutura

- A trindade: conectividade, modularidade e distância
- Assimetrias e sobreposição
- Centralidade
- Resumo

Três princípios do estudo de redes (I)

Três aspectos fundamentais do estudo de redes ecológicas

1.Estrutura está sempre associada à inferências sobre dinâmica

Três princípios do estudo de redes (I)

Três aspectos fundamentais do estudo de redes ecológicas

1.Estrutura está sempre associada à inferências sobre dinâmica

- **Inferências verbais e correlacionais sobre a dinâmica da rede**

Três princípios do estudo de redes (II)

Três aspectos fundamentais do estudo de redes ecológicas

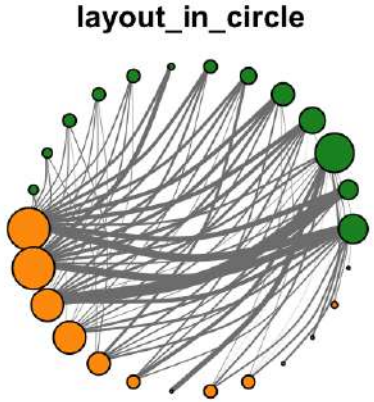
1. Estrutura está sempre associada à inferências sobre dinâmica

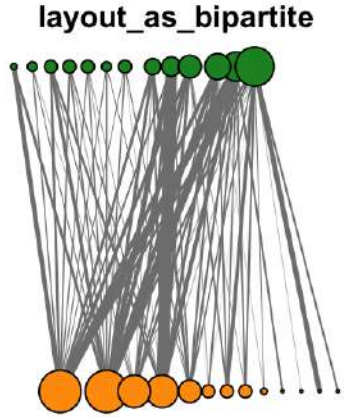
2. **Visualização leva a criatividade**

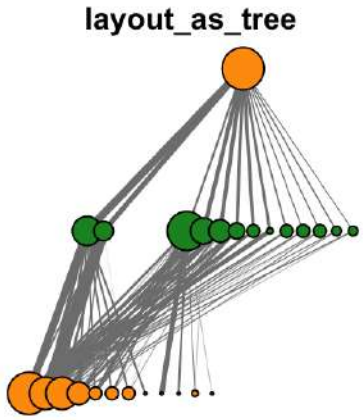
Visualização

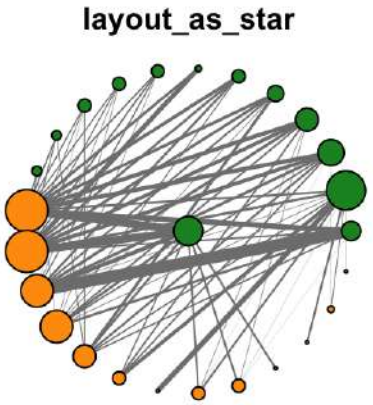
Tutorial disponível por Marília Gaiarsa (na nossa pasta)

Marília Gaiarsa



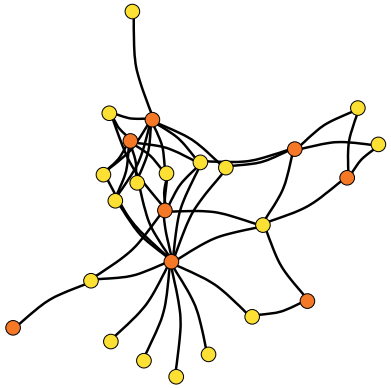




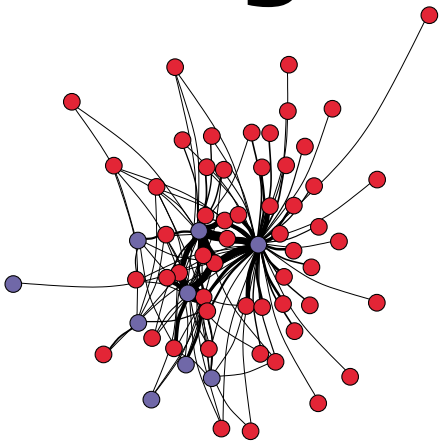


Exemplo: Tipos de grafos

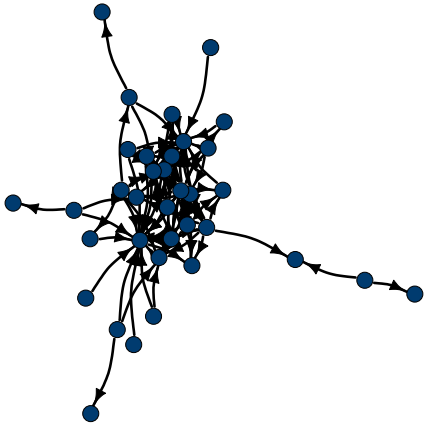
Grafo simples



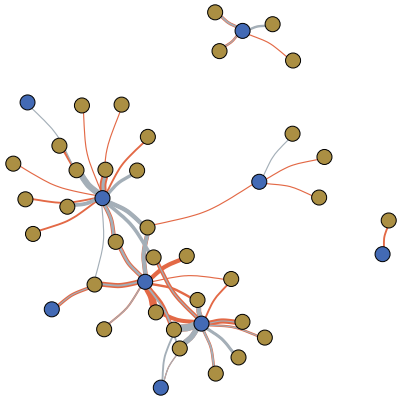
Grafo bipartido



Grafo com peso



Grafo direcionado

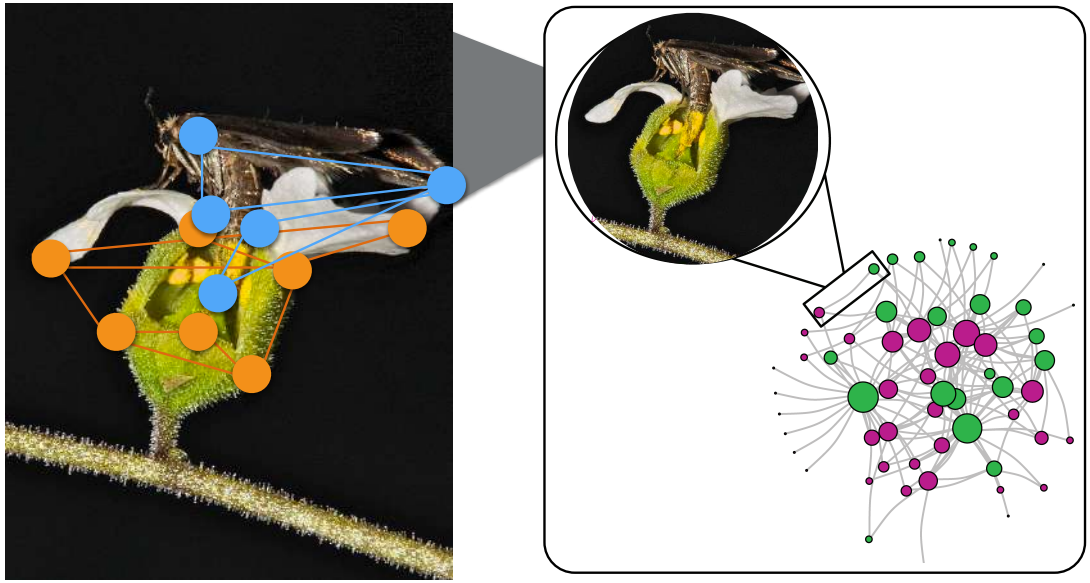


Grafo multicamadas

Combinando redes de diferentes tipos

Redes multi-camadas

Ana P. A. Assis



Assis et al. 2020

Três princípios do estudo de redes (III)

Três aspectos fundamentais do estudo de redes ecológicas

1. Estrutura está sempre associada à inferências sobre dinâmica
2. Visualização leva a criatividade
3. **Há sempre uma métrica para o que quisermos medir (mas se não existir, inventamos!)**

Alguns princípios

IV. Descritores individuais, locais e globais

- A maior parte das métricas de redes
  - Descritor individual ou local (na vizinhança de um ponto)
  - Descritor global (na escala da rede)
- Exceção: algumas métricas baseadas em álgebra linear

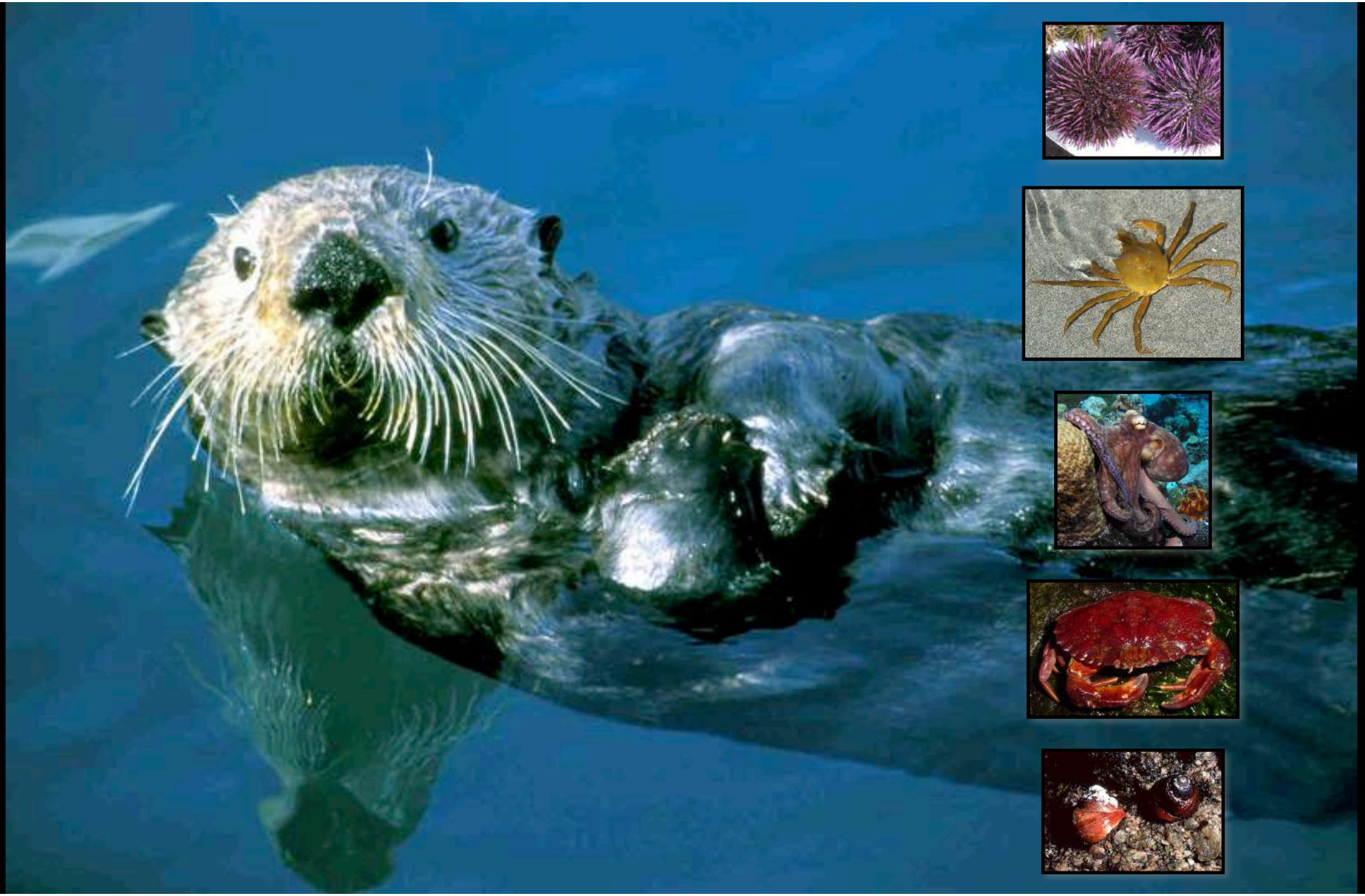
Aula 2: Estrutura

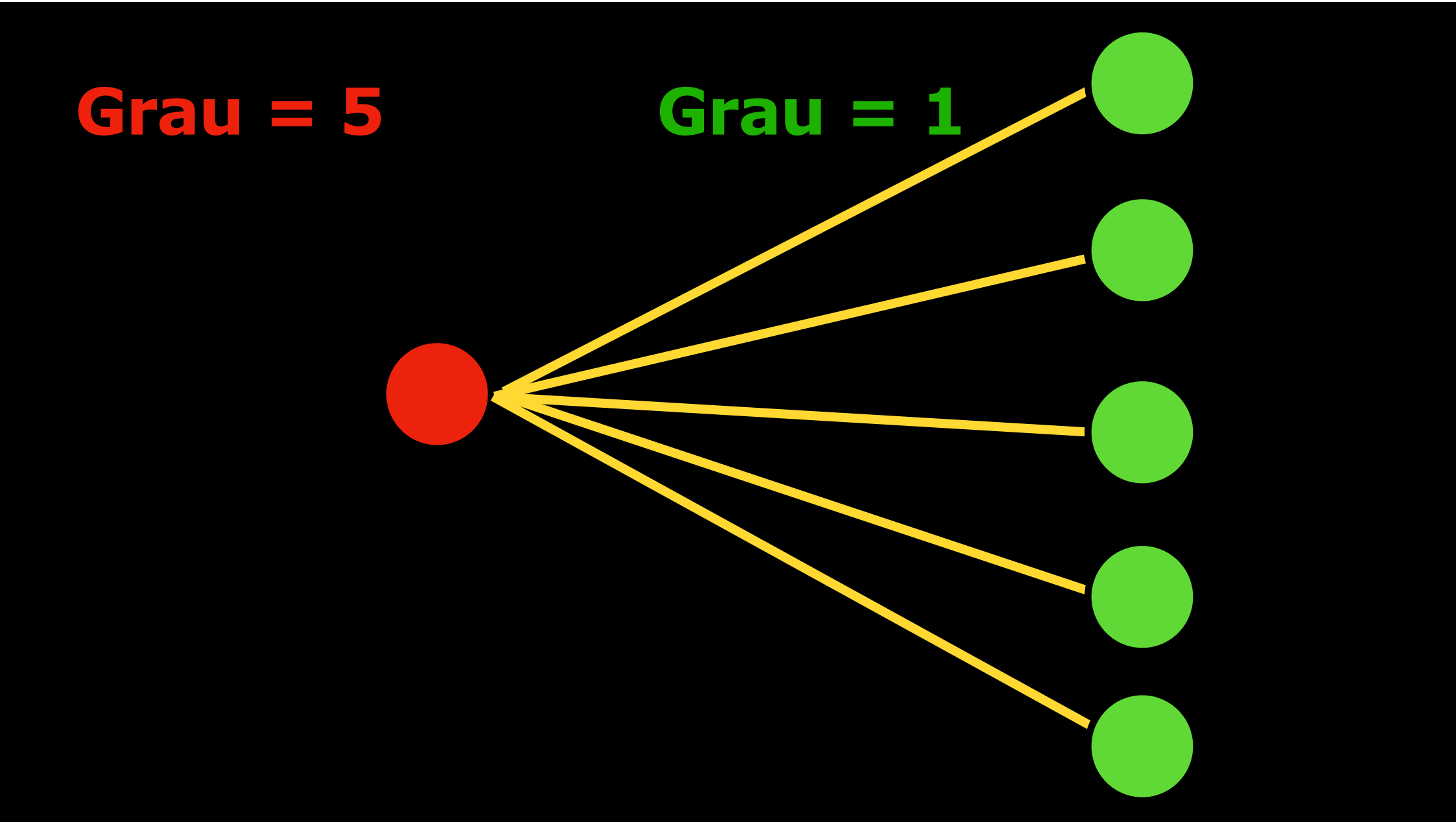
- **A trindade: conectividade, modularidade e distância**
- Assimetrias e sobreposição
- Centralidade
- Resumo

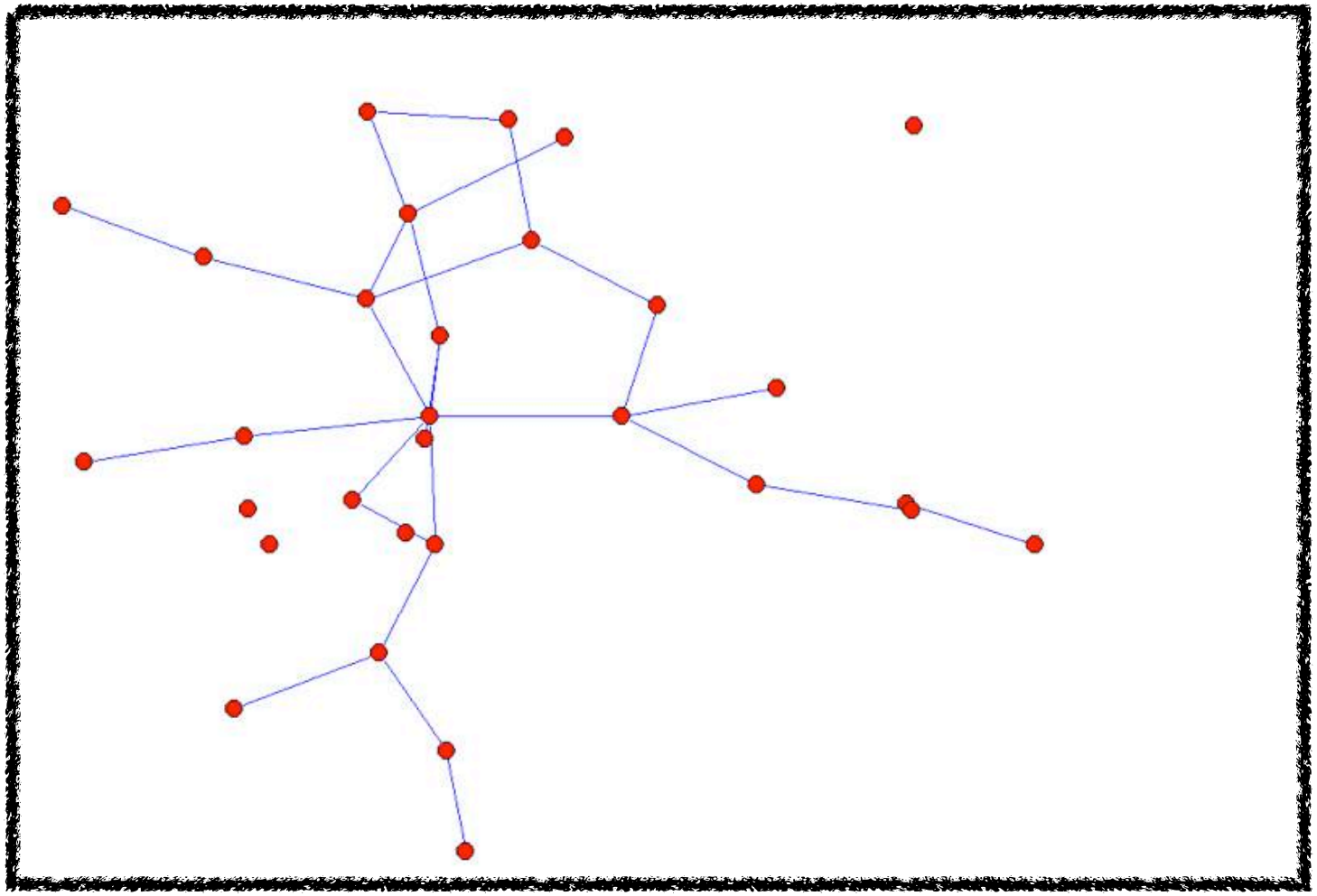
A trindade

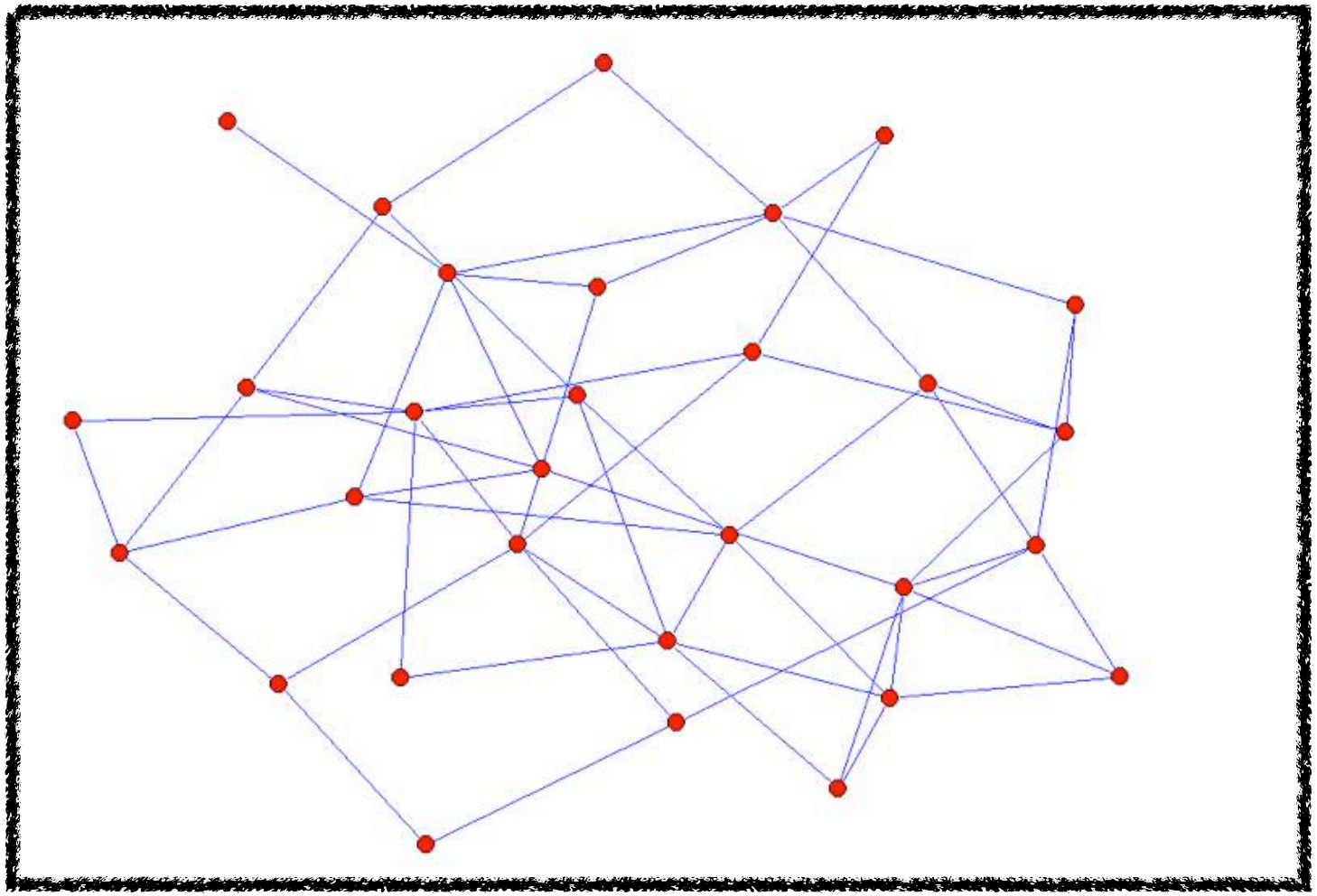
Os três conceitos mais importantes sobre a estrutura de redes

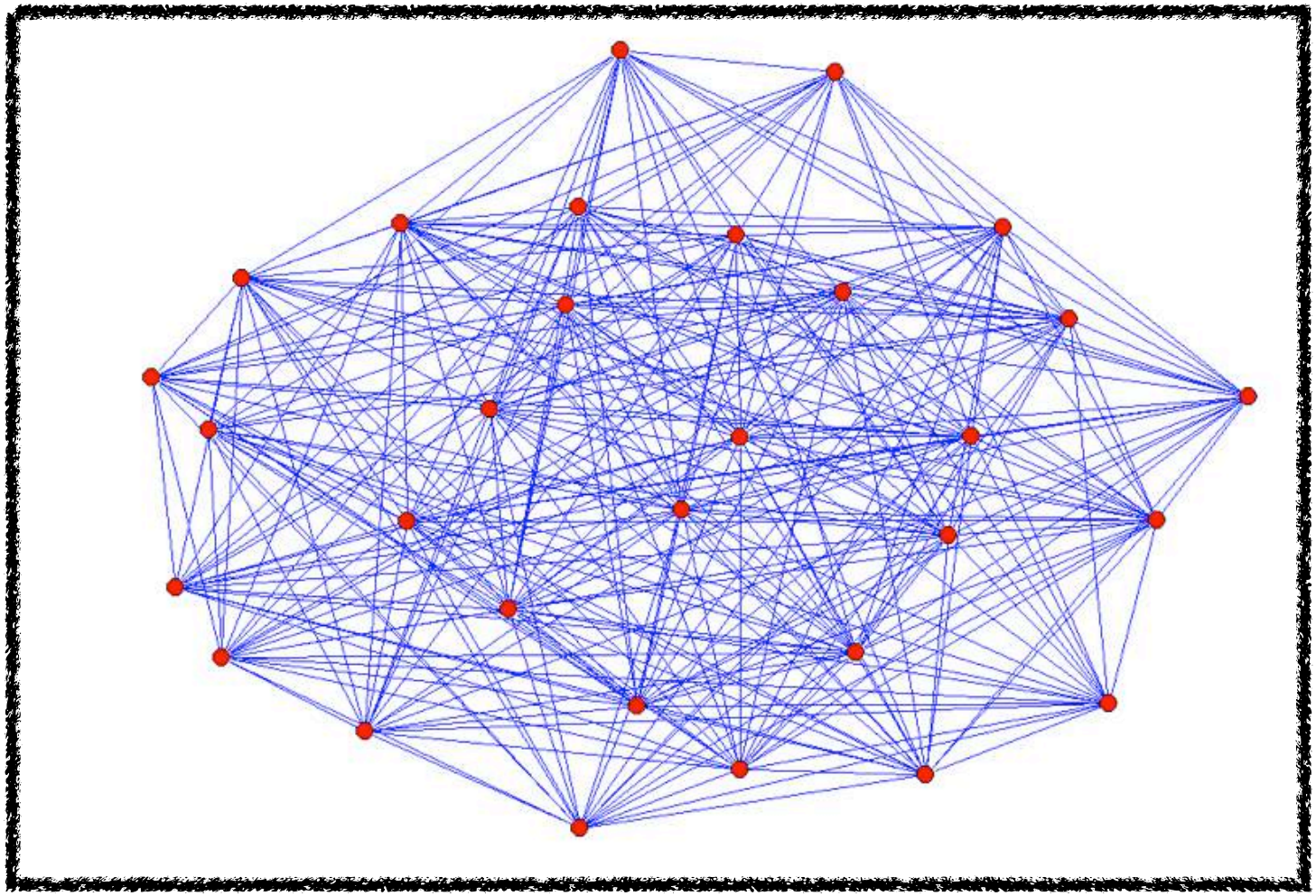
- **Conectividade**
- Modularidade
- Redes homogêneas




Grau = 5
Grau = 1







Conectância =
Interações observadas / interações possíveis

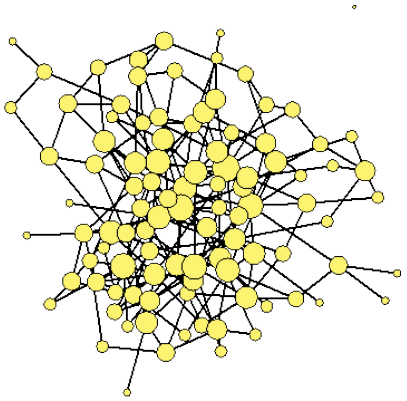
Conectividade

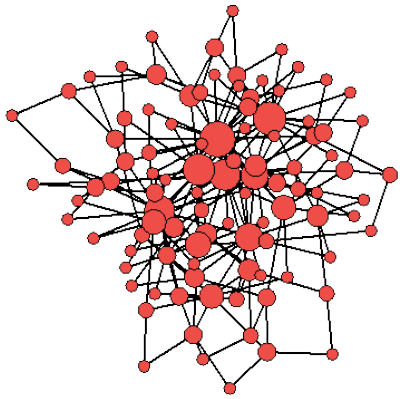
- Ponto (espécie):
  - ✓ Grau

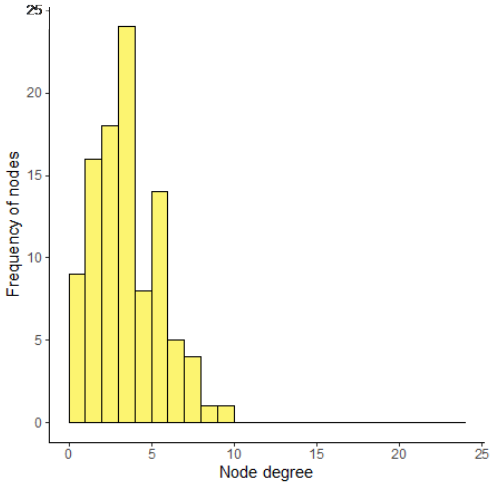
- Rede
  - ✓ Conectância

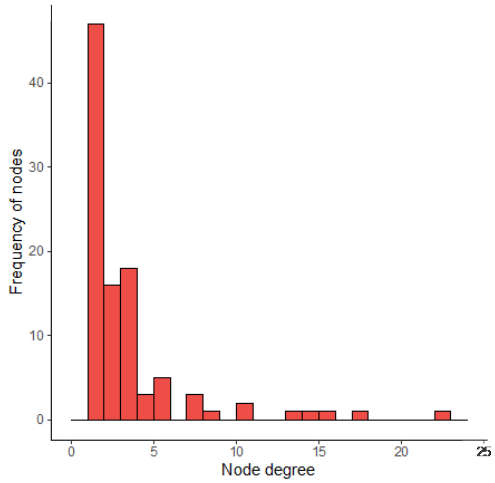
Conectividade

- Ponto (espécie):
  - ✓ Grau
- Rede
  - ✓ Conectância
  - ✓ Grau médio
  - ✓ Distribuição do grau



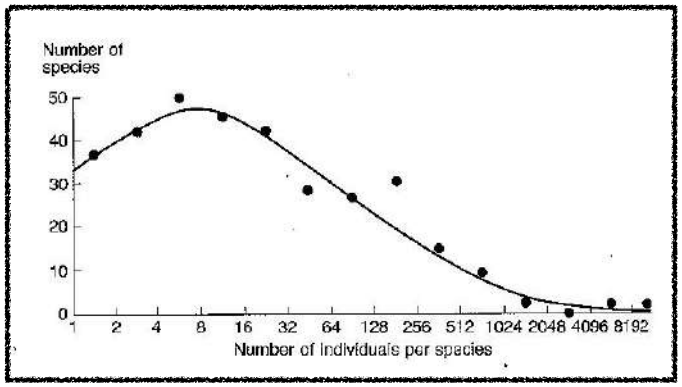


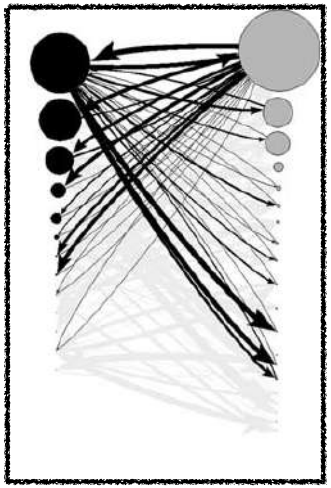




Abundância e a conectividade

- Lei de ação de massas no nível do indivíduo





Vázquez et al. 2005

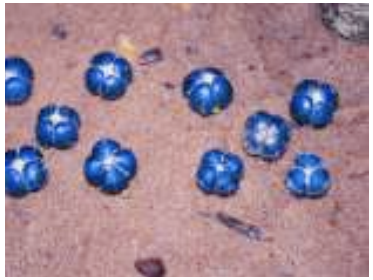










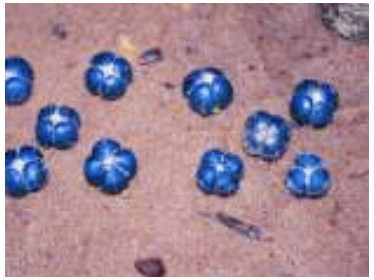










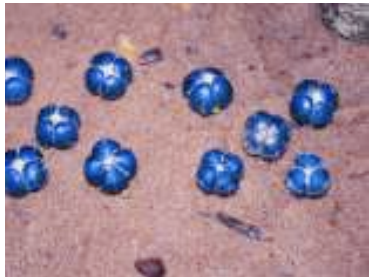






















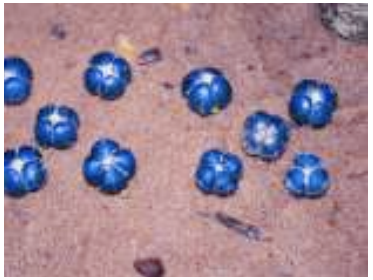






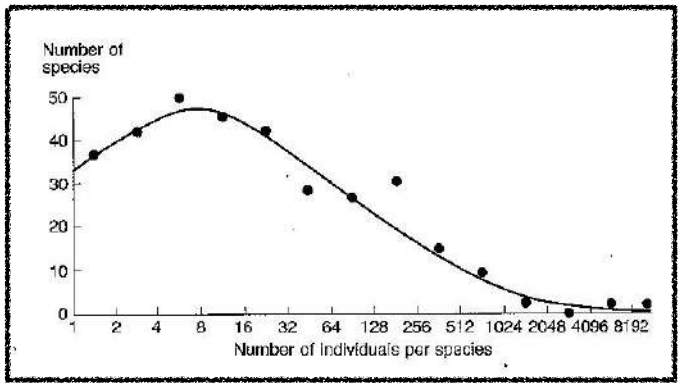


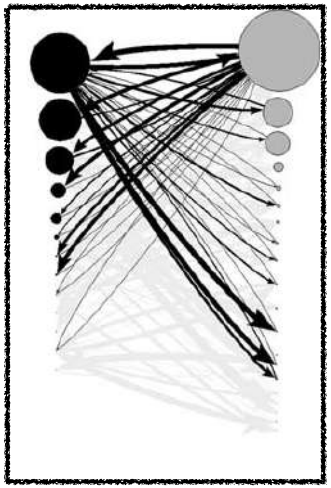




Abundância e a conectividade

- Lei de ação de massas no nível do indivíduo

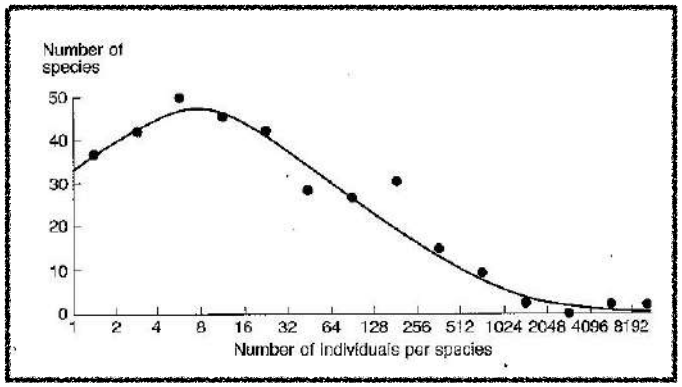




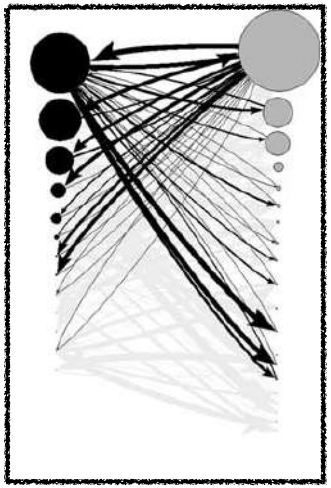
Vázquez et al. 2005

Abundância e a conectividade

- Lei de ação de massas no nível do indivíduo



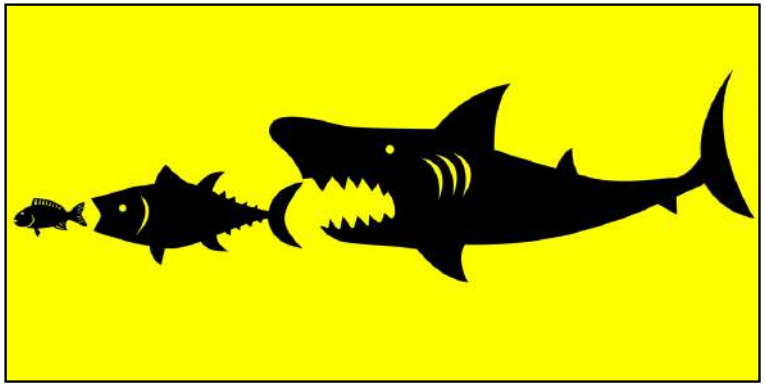
Exceção fundamental

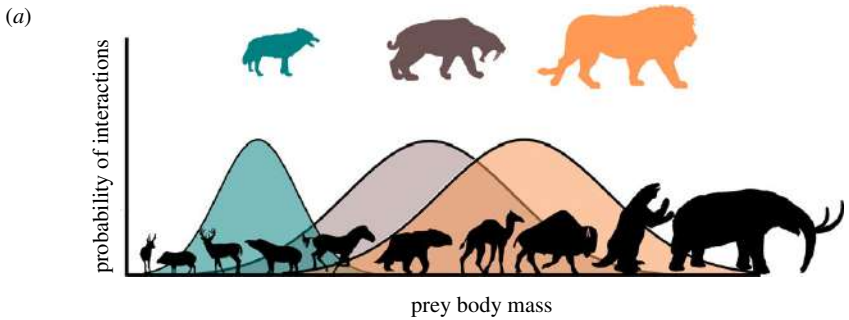


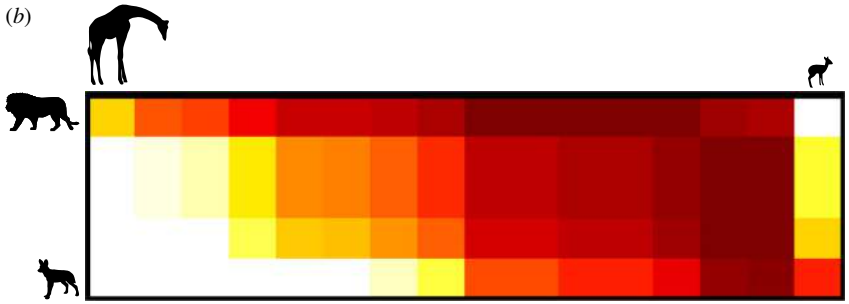
Vázquez et al. 2005

Tamanho corporal

Mathias Pires



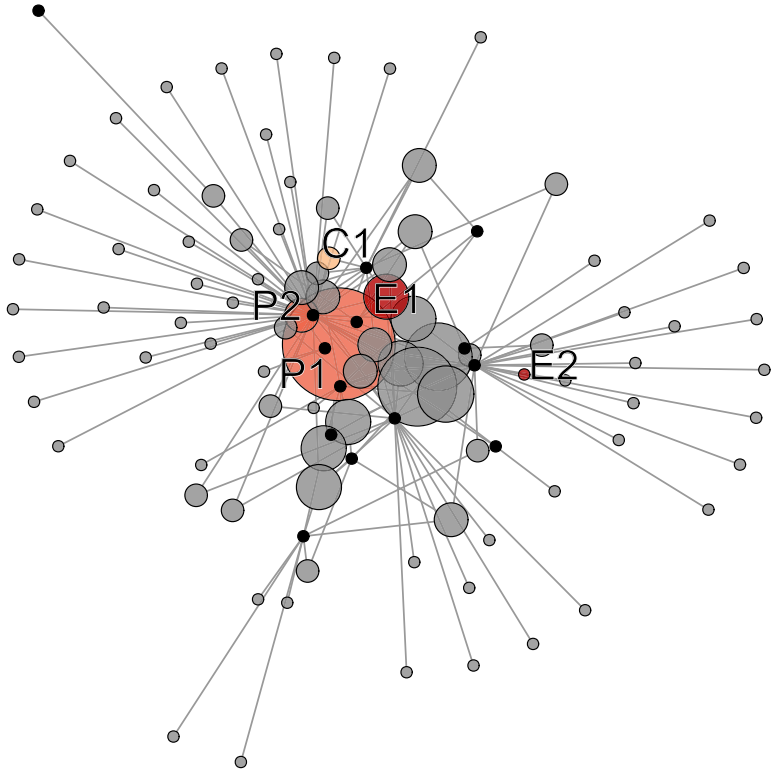


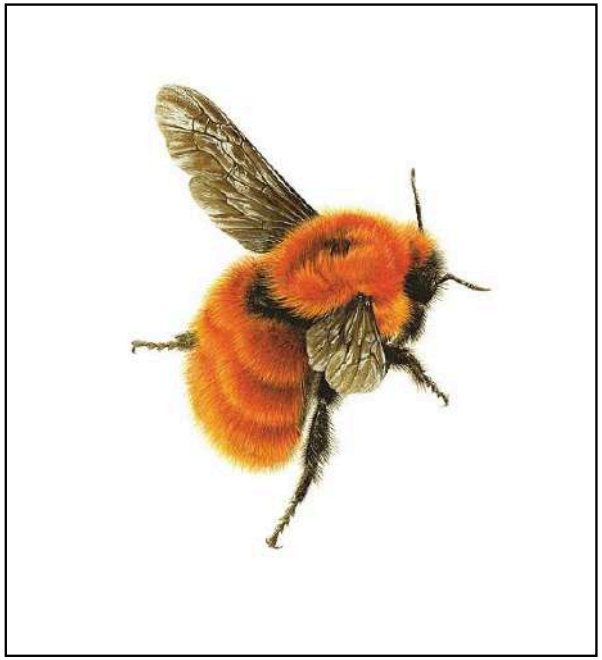


Pires et al. 2015

História natural

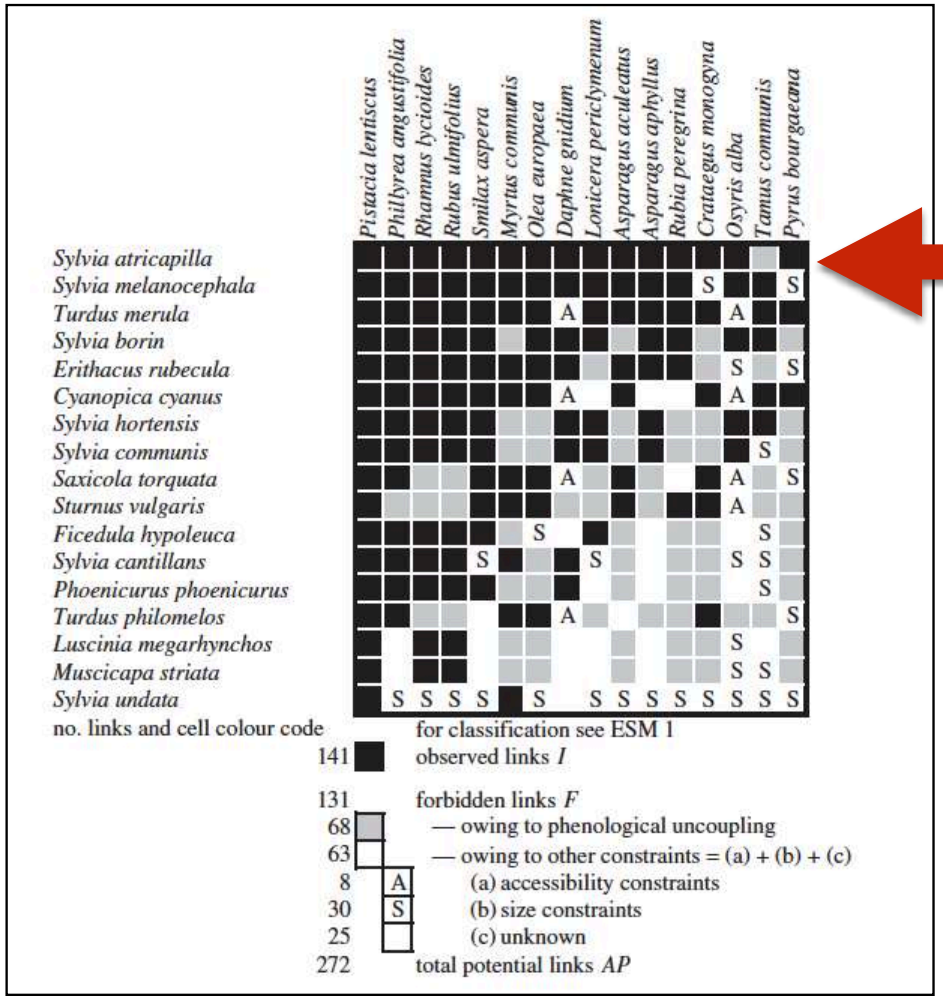
Kate Maia





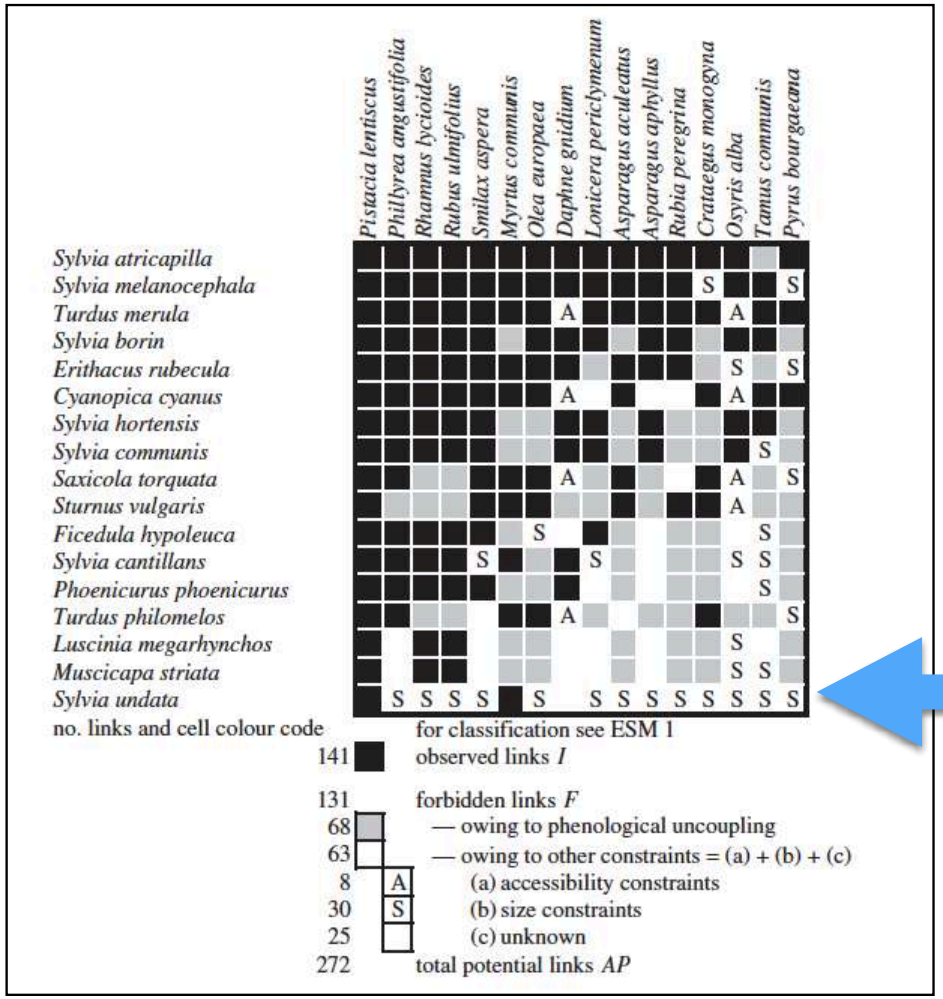
Maia et al. 2020

As ligações proibidas



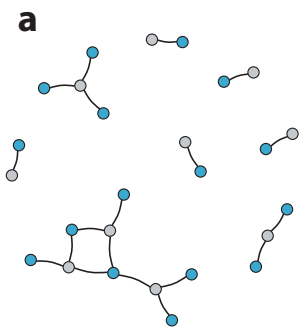
Olesen et al. 2011

As ligações proibidas

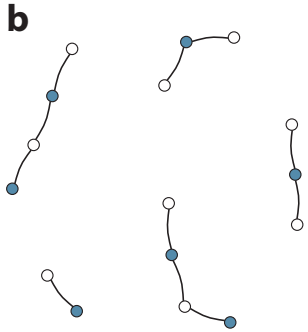


Olesen et al. 2011

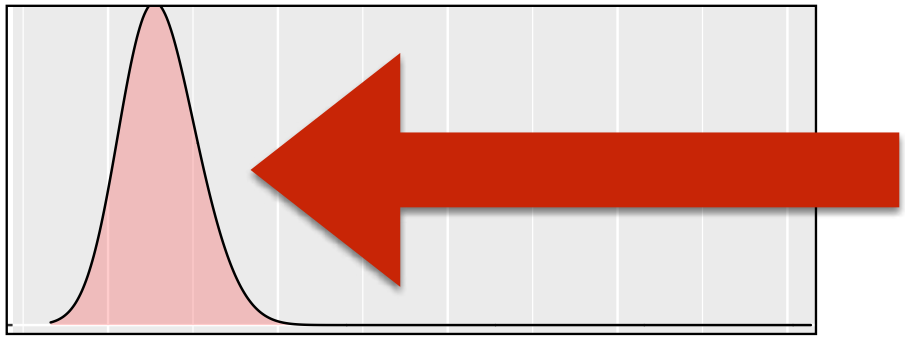
Seleção natural favorecendo especialização



Plants and galling insects



Myrmecophytes and ants

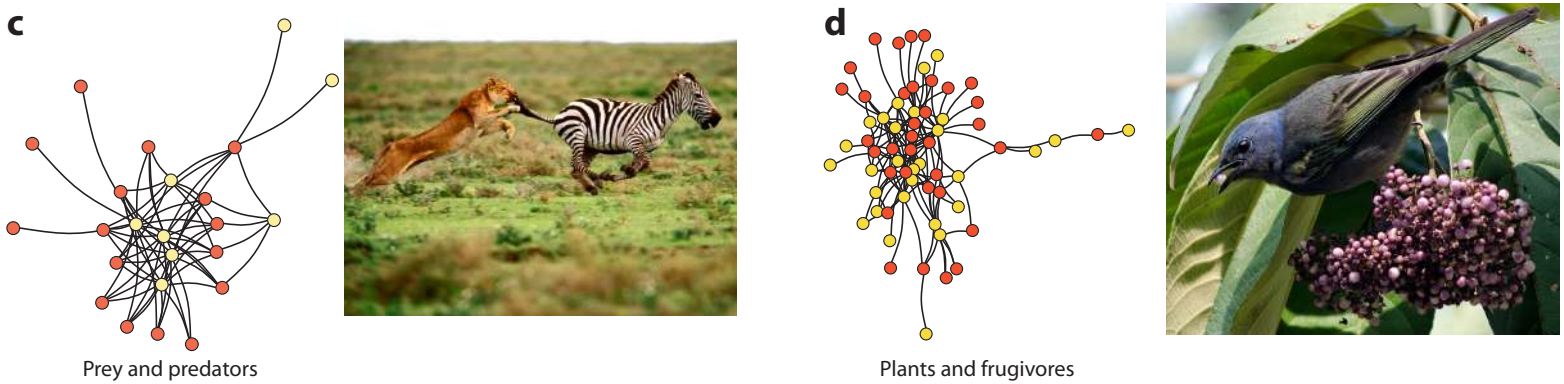


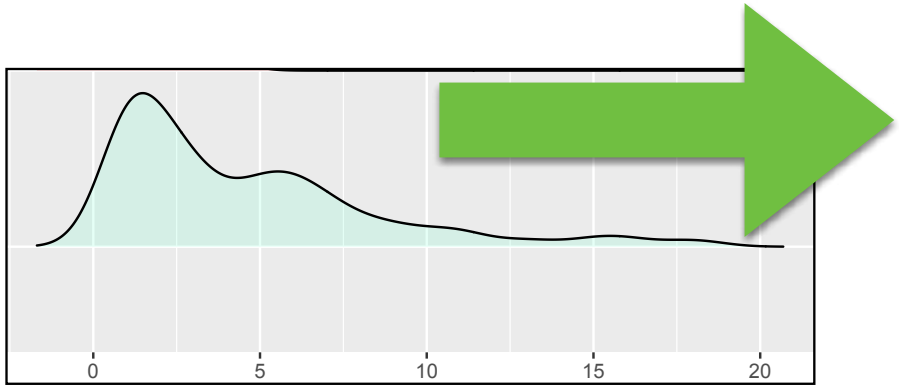
Número de interações por espécie

Seleção contra generalização
nas interações íntimas

Guimarães 2020. AREES

Seleção natural favorecendo especialização

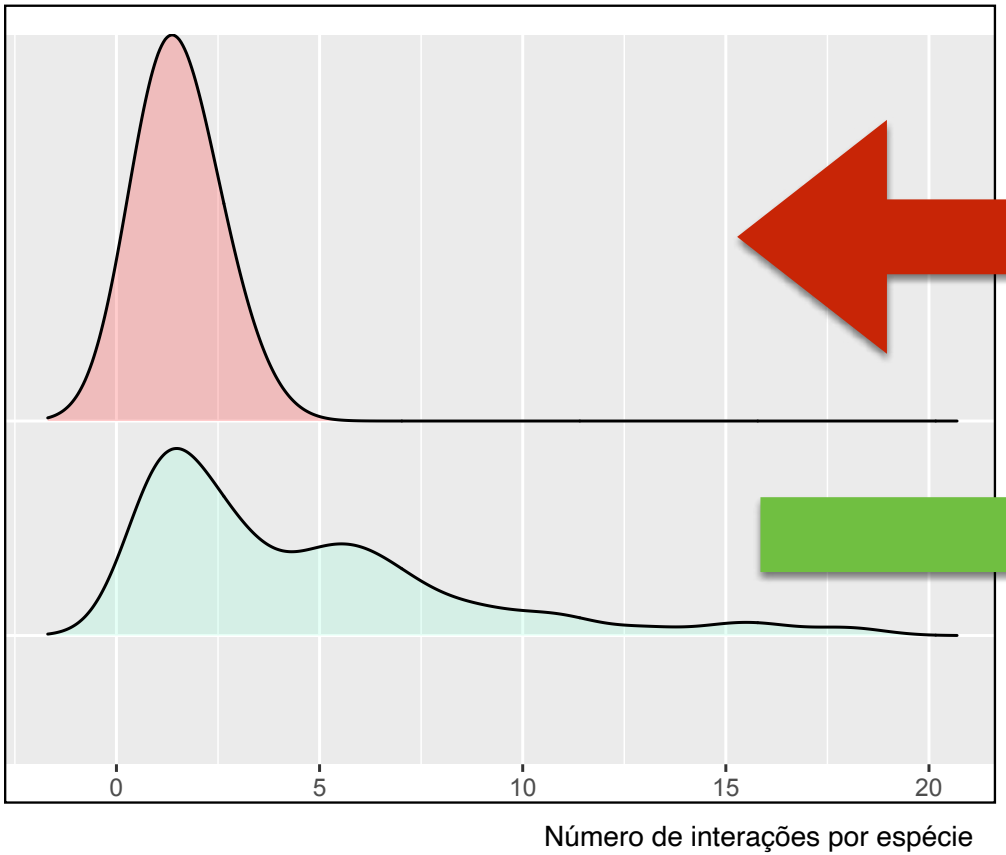




Seleção favorecendo modos de vida super-conectados

Guimarães 2020. AREES

Seleção natural & especialização

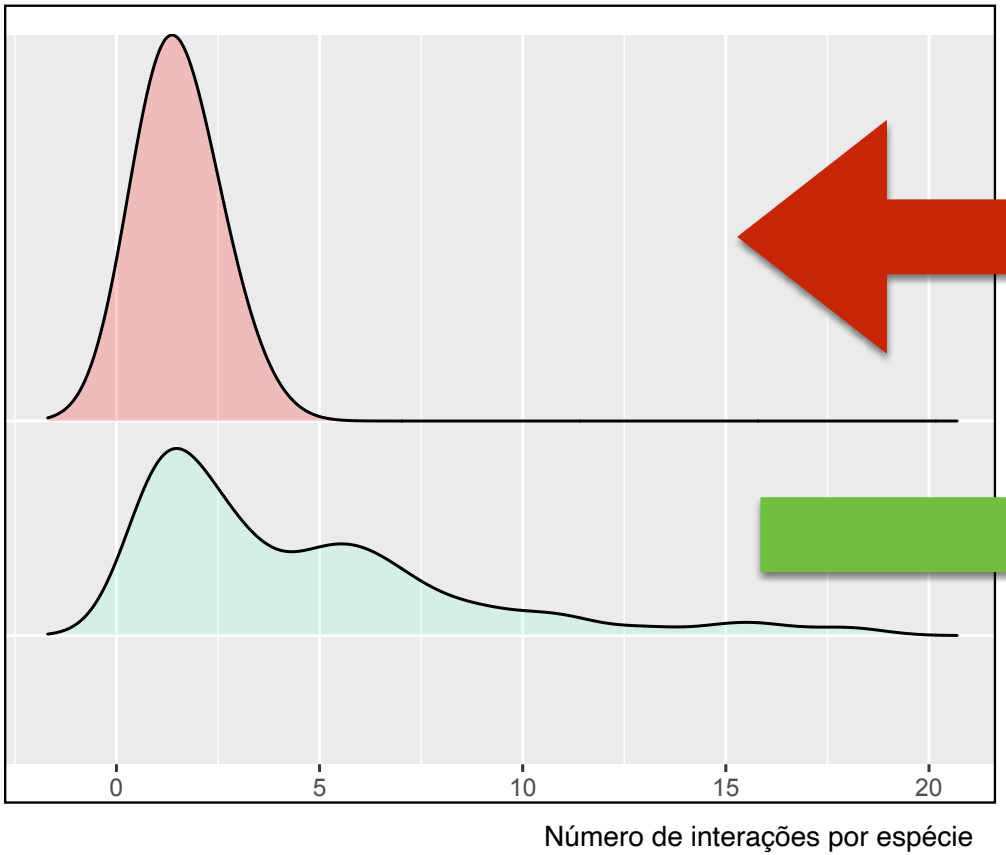


Seleção contra generalização

Seleção favorecendo alguns generalistas

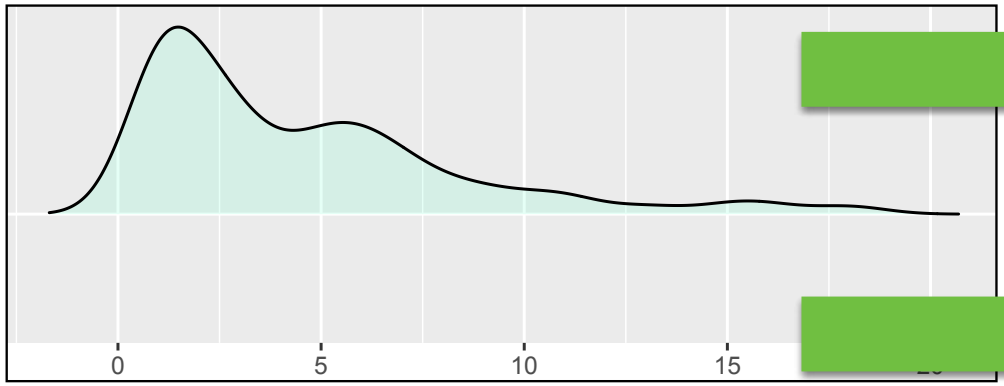
Guimarães 2020. AREES, Guimarães, in prep.

Seleção natural & especialização



Guimarães 2020. AREES, Guimarães, in prep.

Quem disse que a especialização é em binômios latinos?



Número de interações por espécie

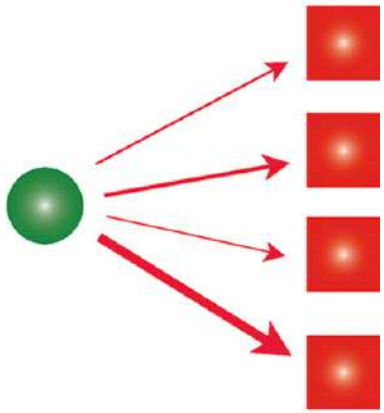
Guimarães 2020. AREES, Guimarães, in prep.

Super-generalistas: especialistas em redes

Jordano et al. 2003. Ecology Letters, Thompson 2005

Conectividade

- Ponto (espécie):
  - ✓Grau
  - ✓**Força de interações**



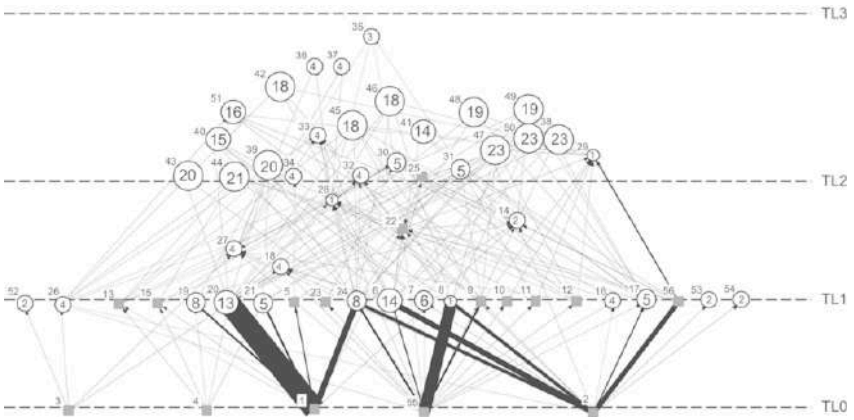
Freqüência relativa

Efeitos demográficos *per capita*

Fluxo de biomassa e/ou energia

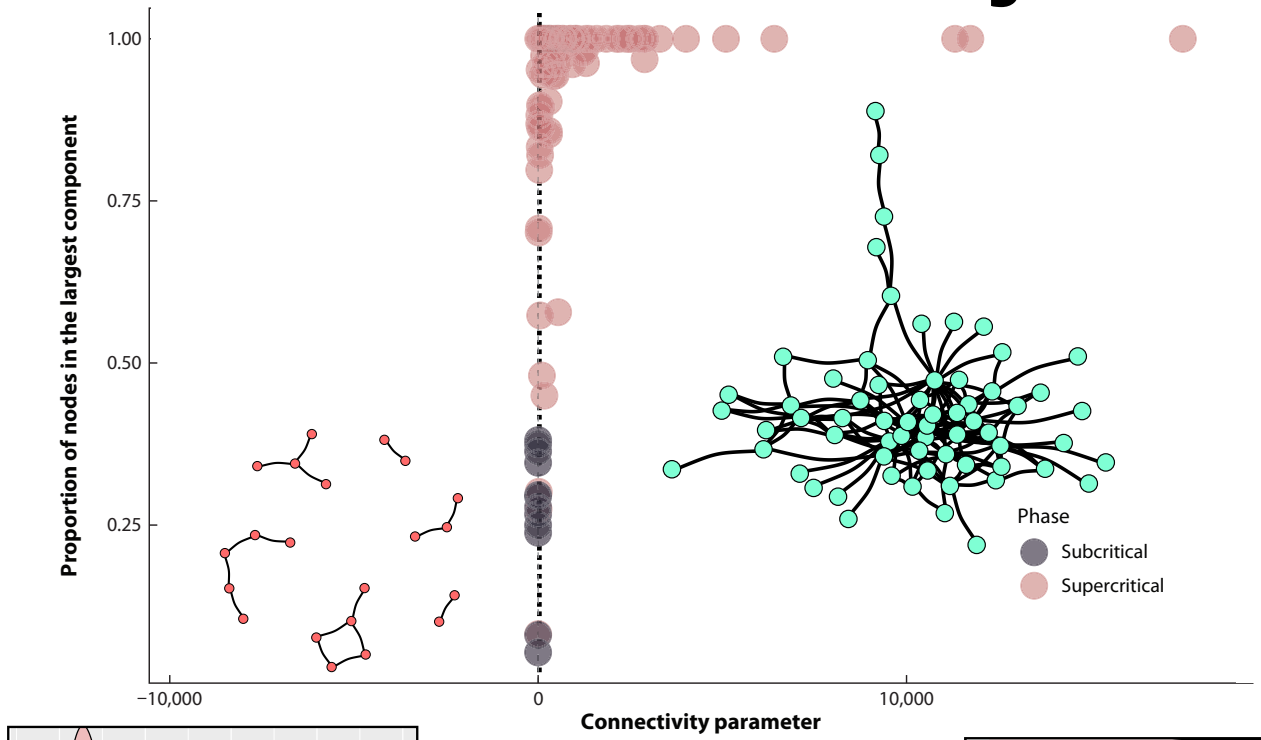
Efeito de se remover uma espécie para a teia trófica

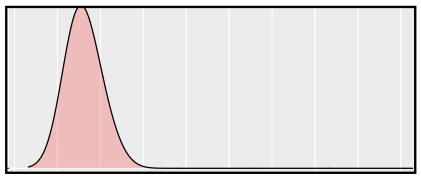
- Rede
  - ✓Grau médio
  - ✓Conectância
  - ✓Distribuição do grau



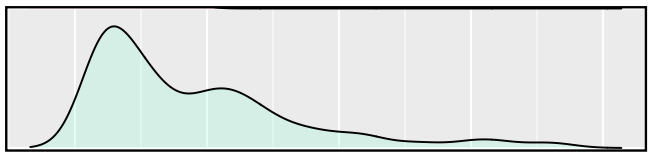
Neutel et al. 2002

Conectividade e formação de grupos



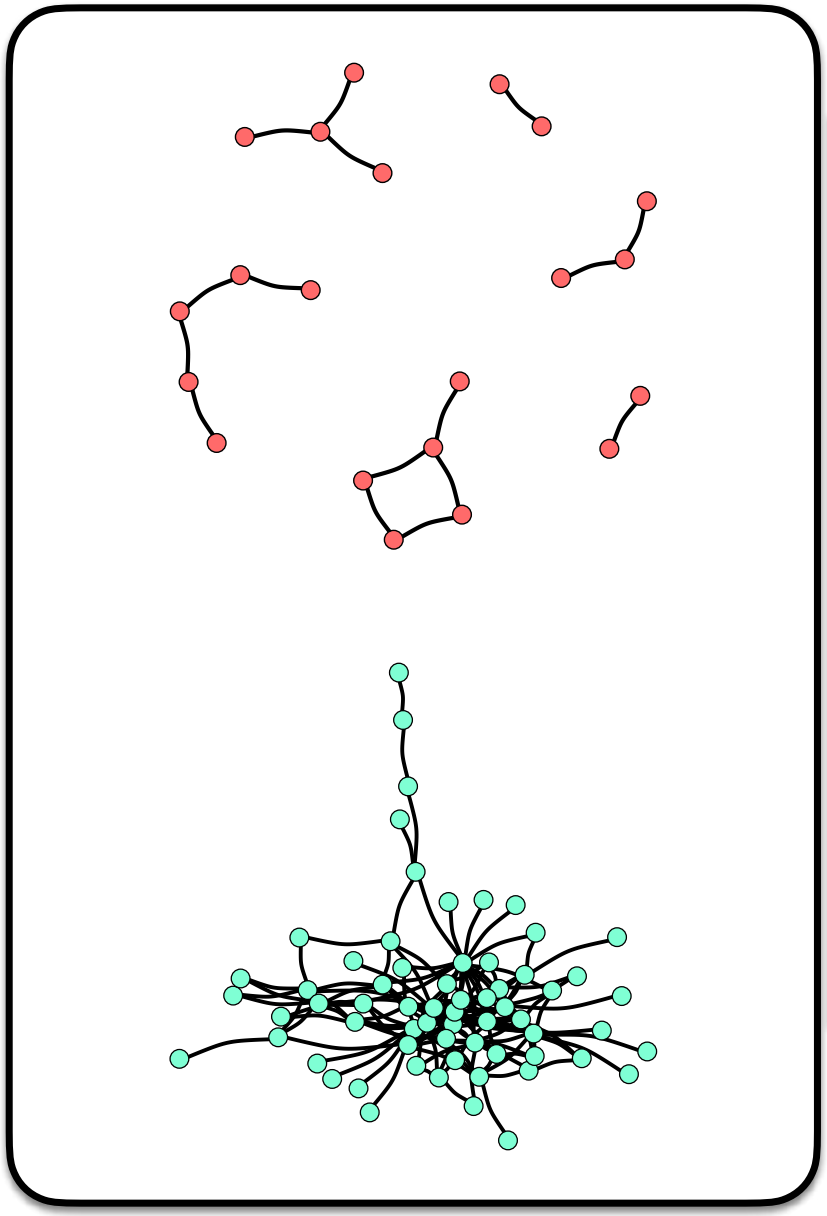


Número de interações por espécie



Número de interações por espécie

Guimarães 2020. AREES



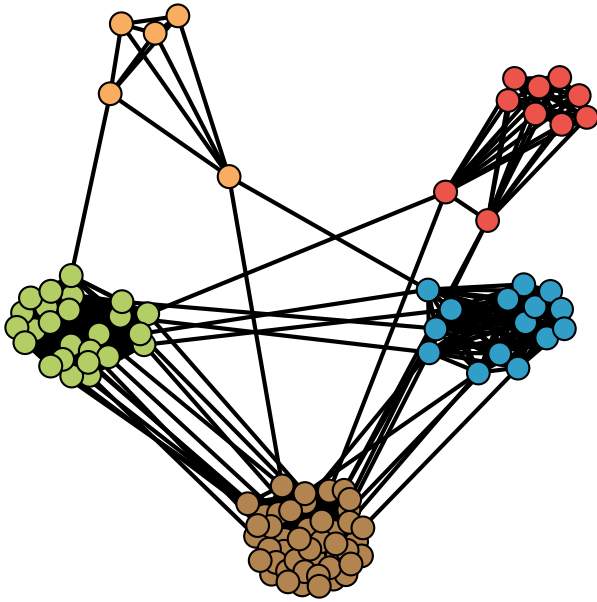
Redes desconectadas
(componentes múltiplos)

Redes conectadas
(a componente gigante)

Guimarães et al 2007. Current Biology

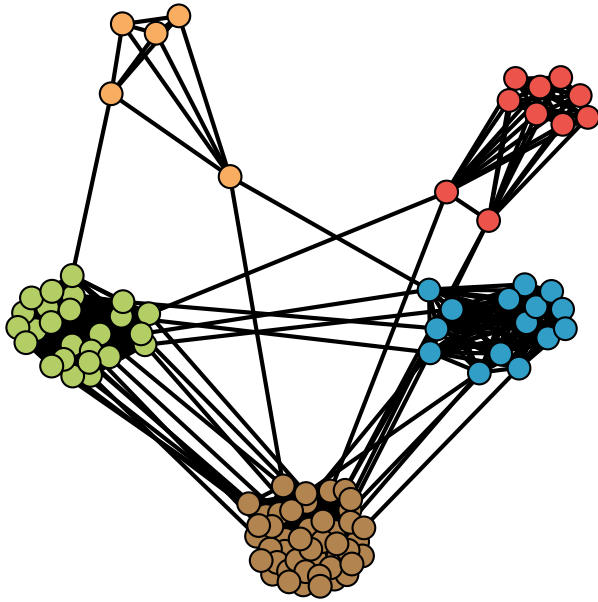
Módulos/Comunidades/Compartimentos

- Regiões densas em conexões (módulos)
- Regiões rarefeitas em conexões (entre os módulos)



Módulos/Comunidades/Compartimentos

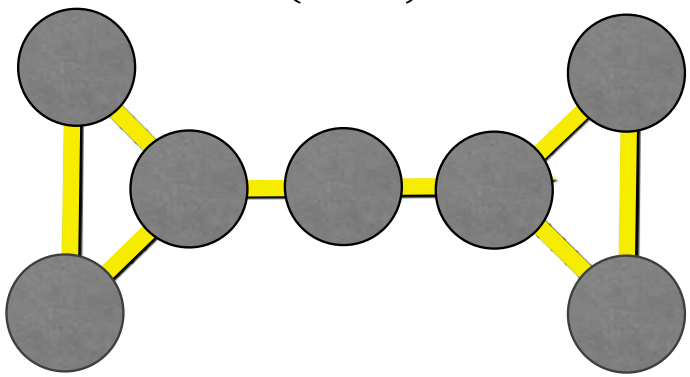
- Regiões densas em conexões (módulos)
- Regiões rarefeitas em conexões (entre os módulos)
- **Adensamentos sem identificar módulos**



Coeficiente de agregação

- Uma conectância ao redor do ponto
- O quanto meus amigos são amigos entre si?

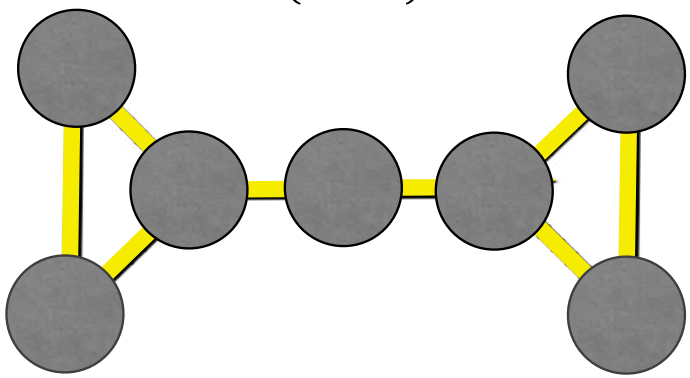
$$C = \frac{2E}{N(N-1)} = 2x8/42=0,38$$



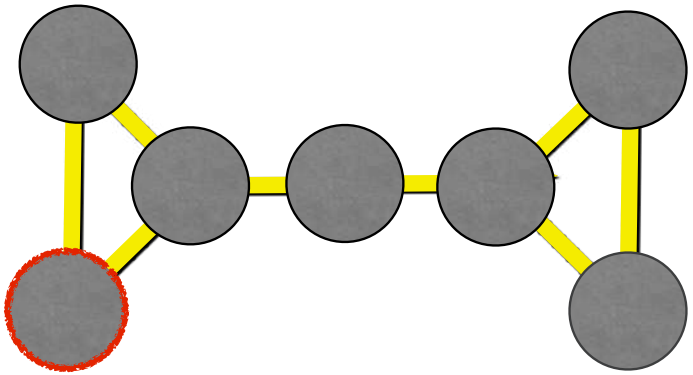
Coeficiente de agregação

- Uma conectância ao redor do ponto
- O quanto meus amigos são amigos entre si?

$$C = \frac{2E}{N(N-1)} = 2x8/42=0,38$$



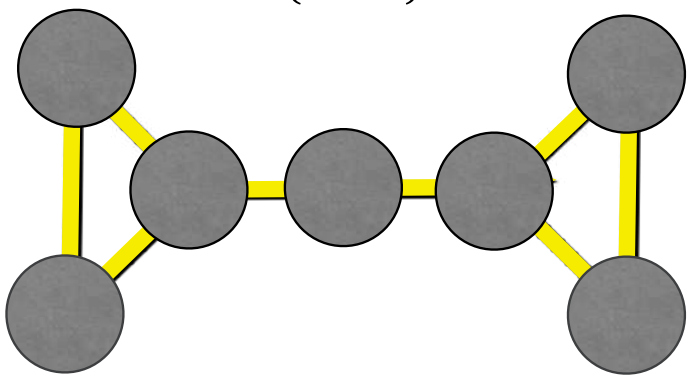
$$C_i = \frac{2E_i}{k_i(k_i-1)}$$



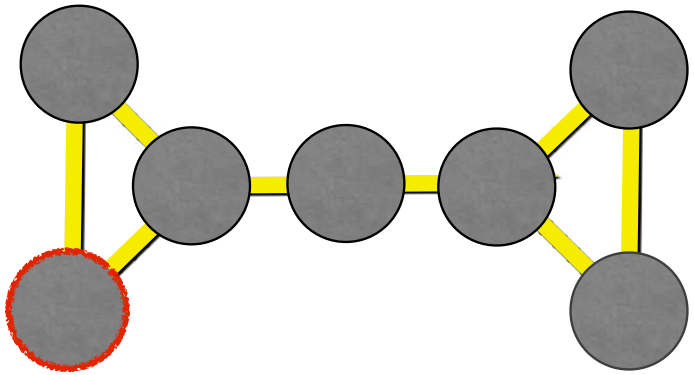
Coeficiente de agregação

- Uma conectância ao redor do ponto
- O quanto meus amigos são amigos entre si?

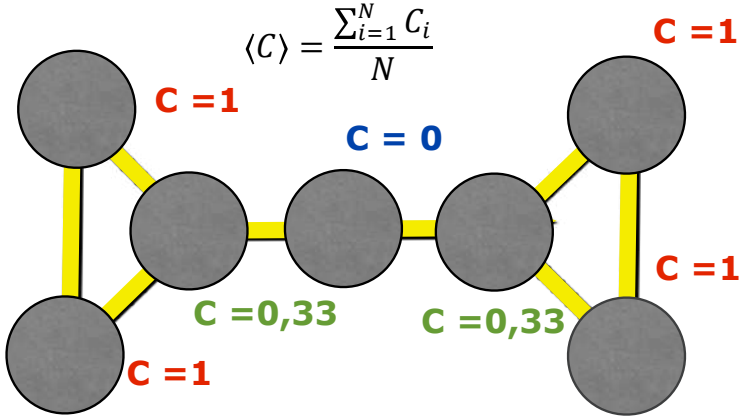
$$C = \frac{2E}{N(N-1)} = 2x8/42=0,38$$



$$C_i = \frac{2E_i}{k_i(k_i-1)}$$

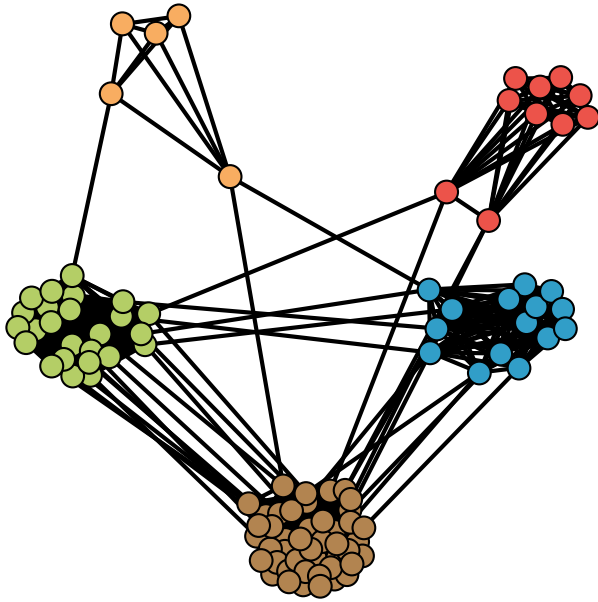


$$\langle C \rangle = \frac{\sum_{i=1}^{N} C_i}{N}$$

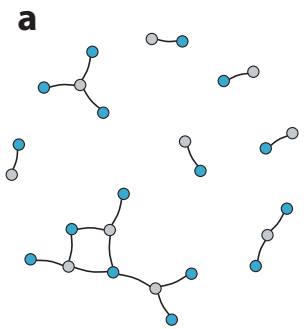


Módulos/Comunidades/Compartimentos

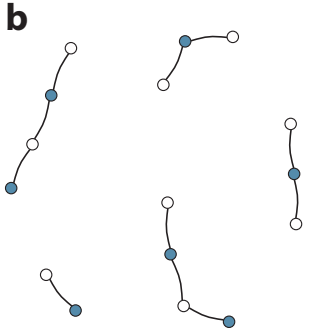
- Regiões densas em conexões (módulos)
- Regiões rarefeitas em conexões (entre os módulos)
- Adensamentos sem identificar módulos
- **Identificando módulos na rede**
    - **Métodos analíticos**



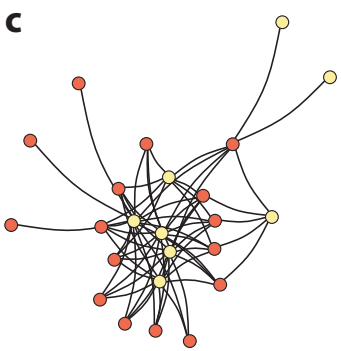
Módulos identificados analiticamente



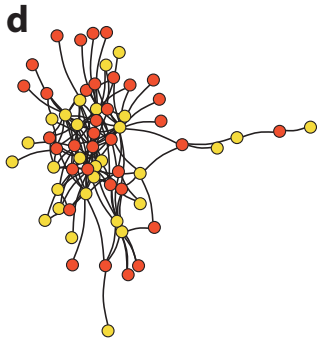
Plants and galling insects



Myrmecophytes and ants



Prey and predators



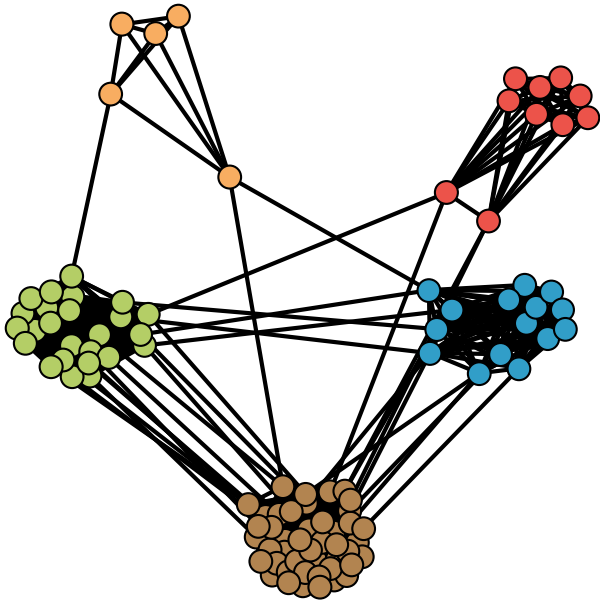
Plants and frugivores

Foto: Motta Jr

Fontaine et al. 2011. Ecology letters, Pires & Guimarães 2013. Interface

Módulos identificados computacionalmente

- Número de possíveis módulos
- Quantos pontos estão em cada módulo?
- Qual ponto está em qual módulo?
- Qual arranjo:
    - Concentração maior de conexões dentro dos módulos
    - Concentração menor de conexões entre módulos

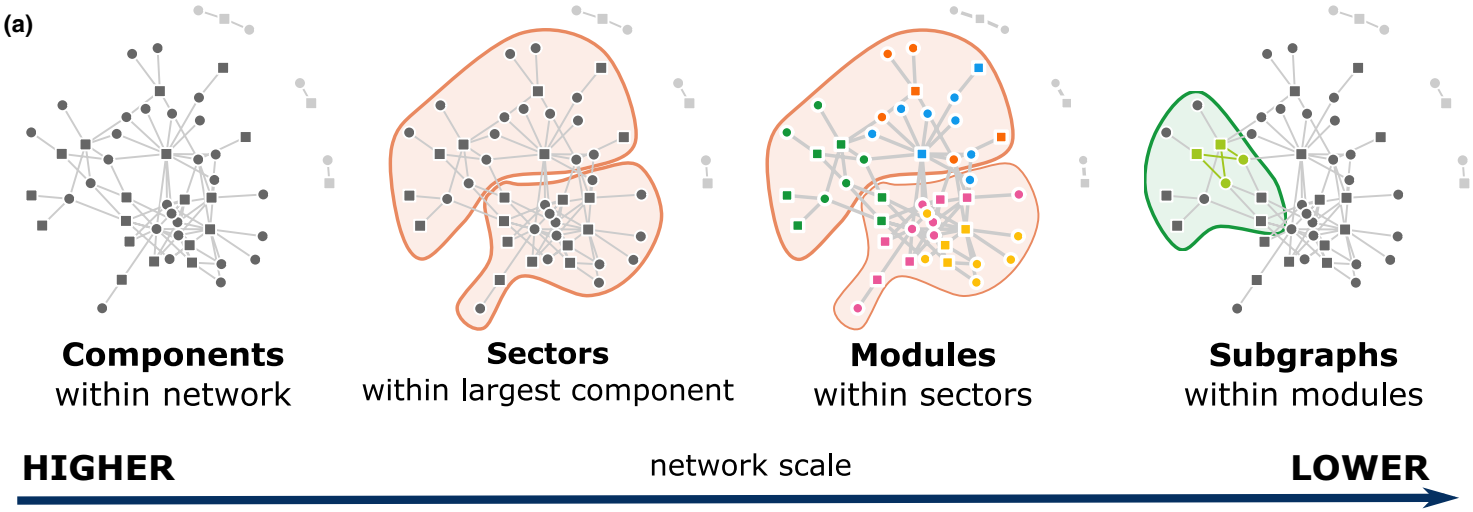


Flavia Marquitti

Marquitti et al. 2014

Organização hierárquica

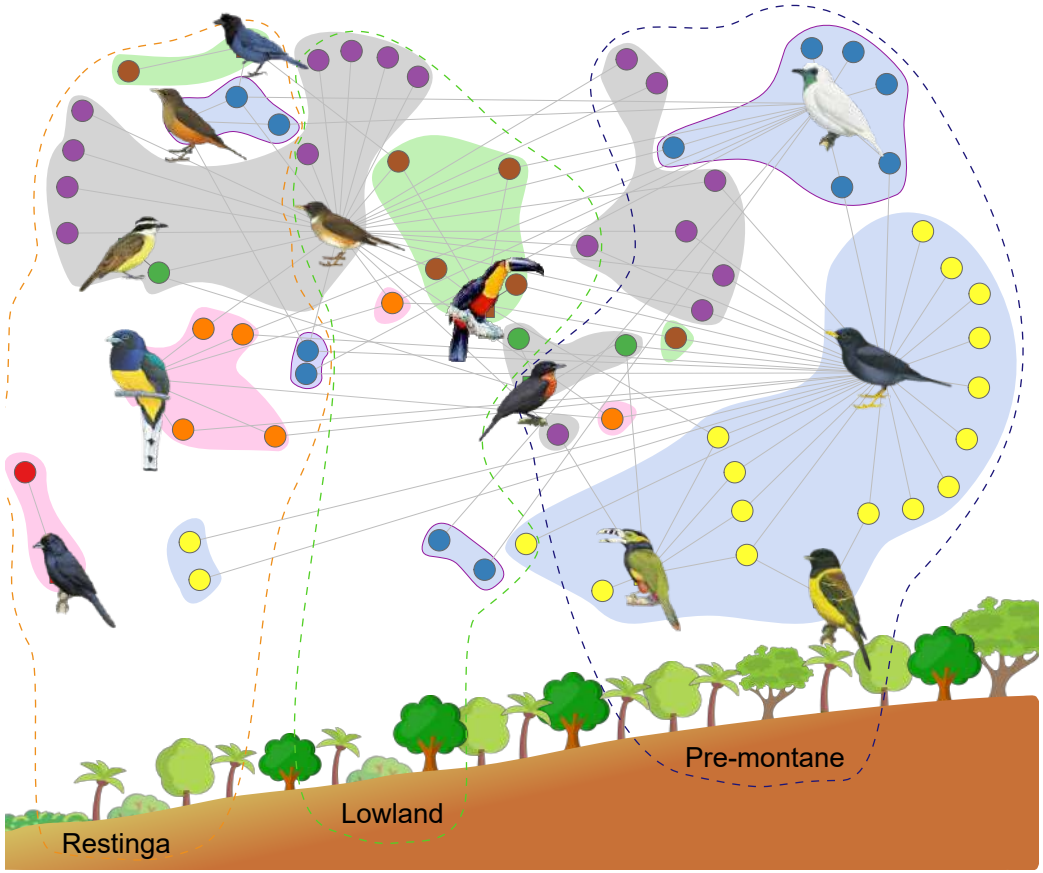
Kate Maia



Maia & Guimarães 2024. Ecology Letters

Módulos estruturados no espaço

Pâmela Friedemann



Friedemann et al. 2023. Oikos

Módulos estruturados no espaço

Gasterosteus aculeatus

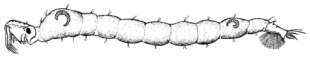
Márcio Araújo

Chironomidae

Odonata

Ephemeroptera

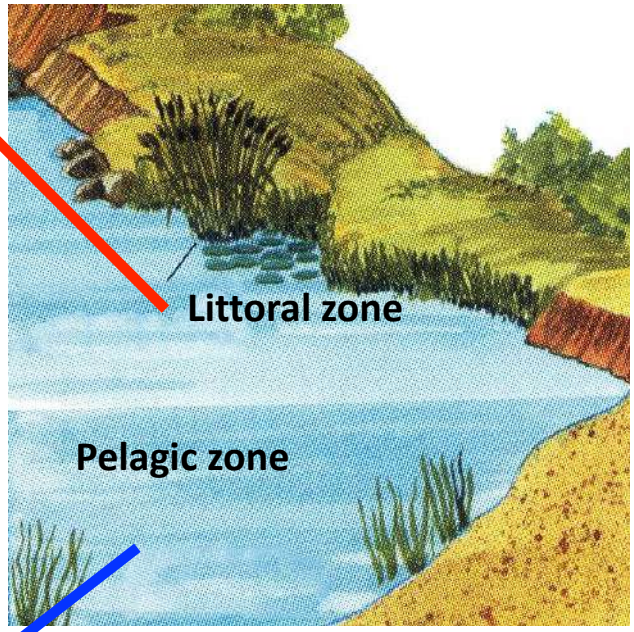
Chydorus



Chaoborus

Daphnia

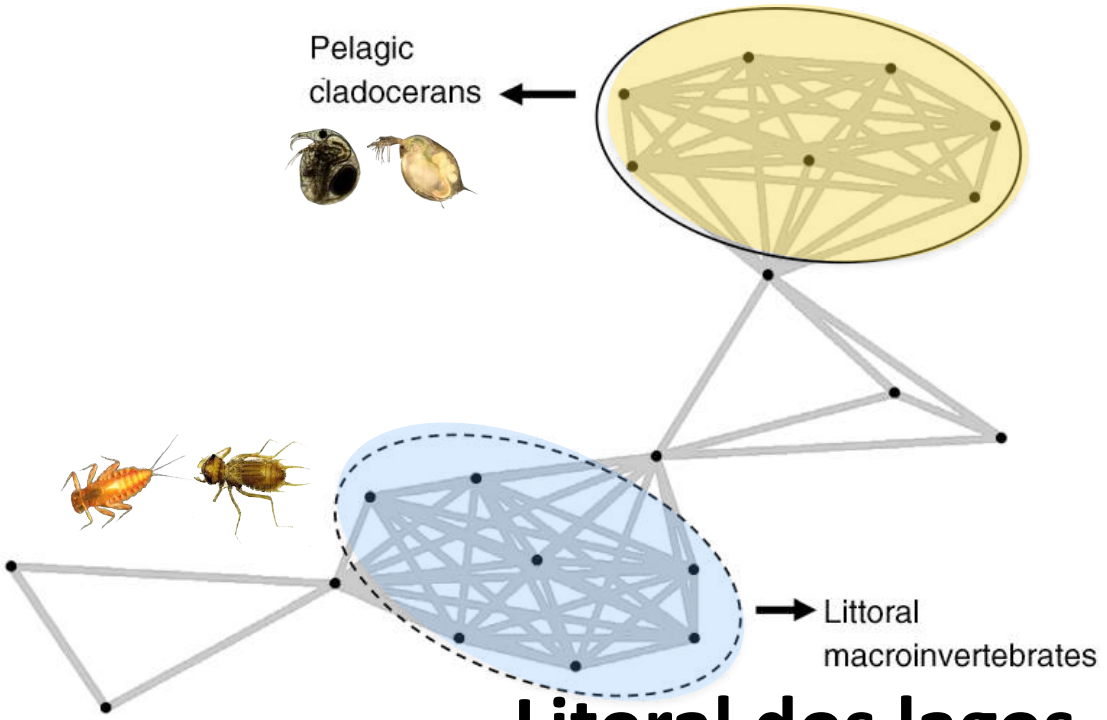
Bosmina



Módulos estruturados no espaço

Gasterosteus aculeatus

Zona pelágica dos lagos



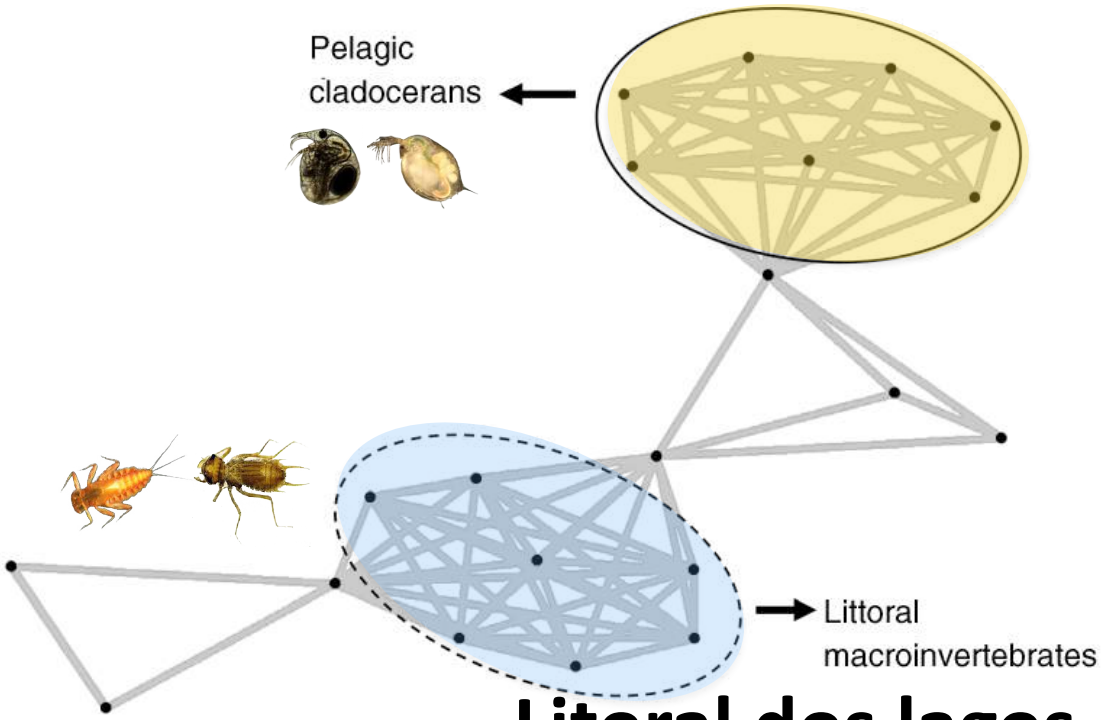
Litoral dos lagos

Araújo et al 2008. Ecology

Módulos estruturados no espaço

Gasterosteus aculeatus

Zona pelágica dos lagos

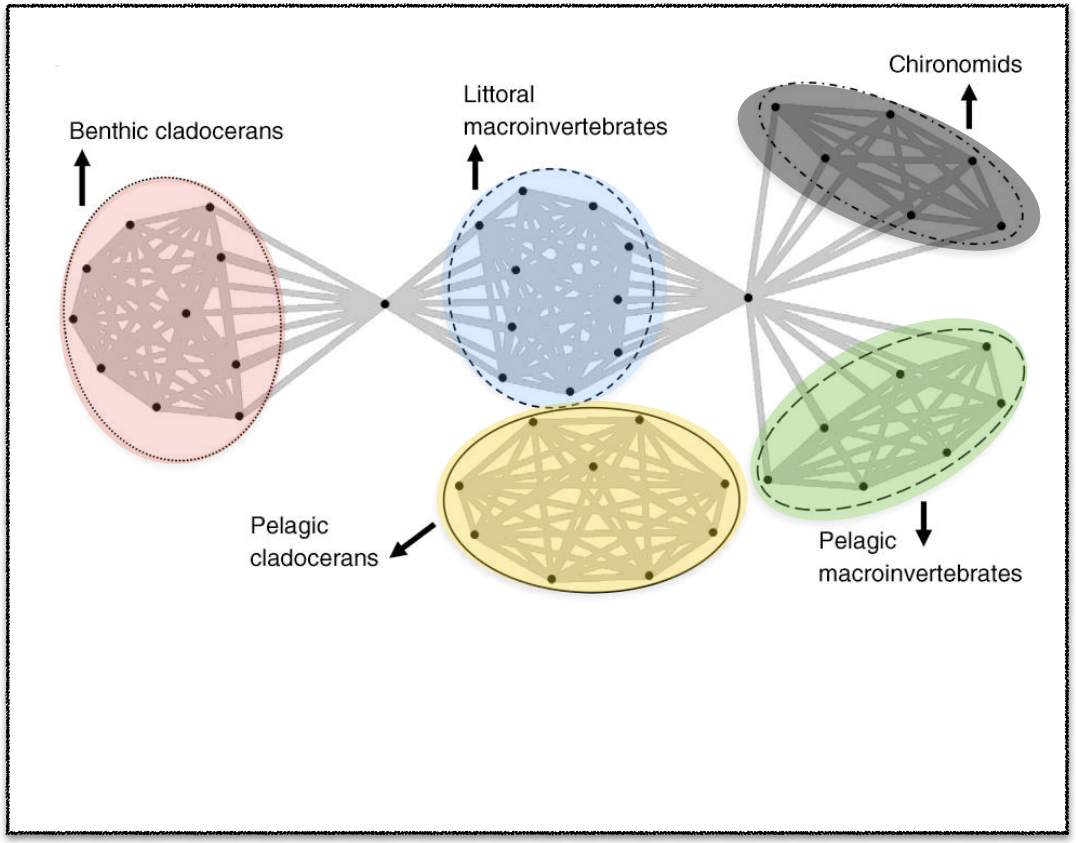


Litoral dos lagos

Araújo et al 2008. Ecology

E por competição ....

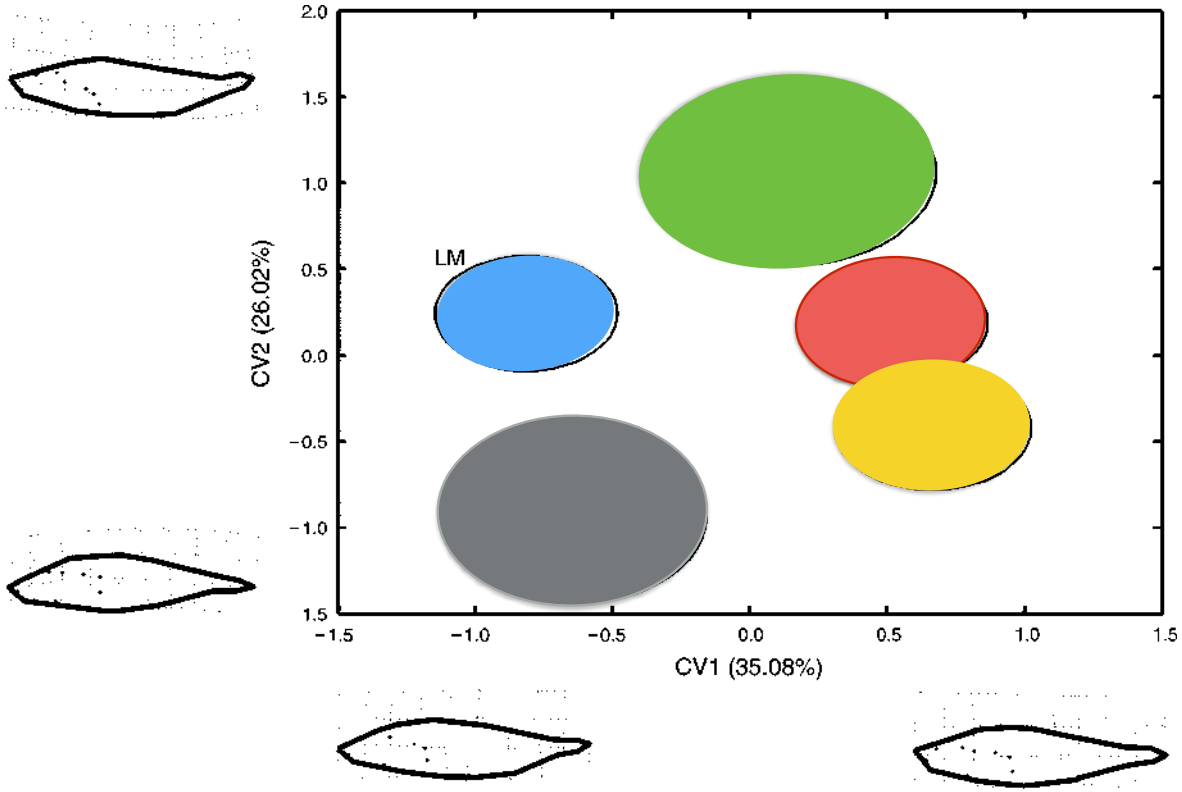
Gasterosteus aculeatus



Araújo et al 2008. Ecology

E por características ....

Gasterosteus aculeatus

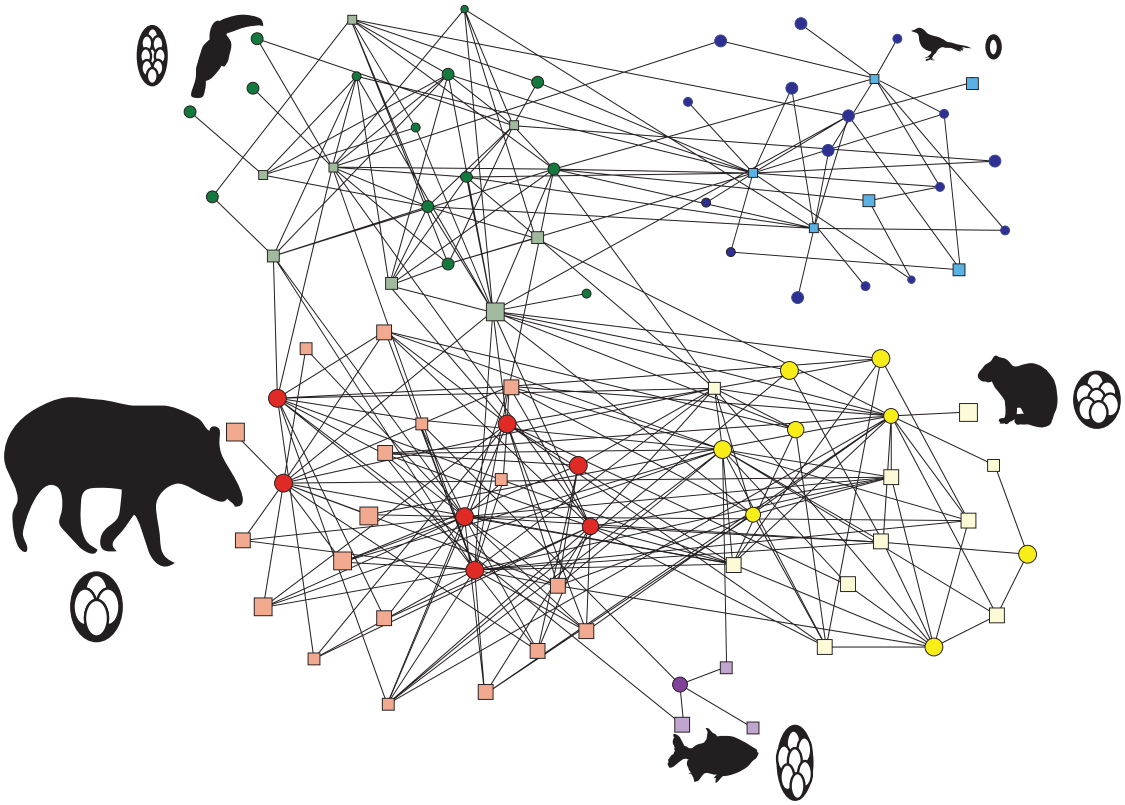


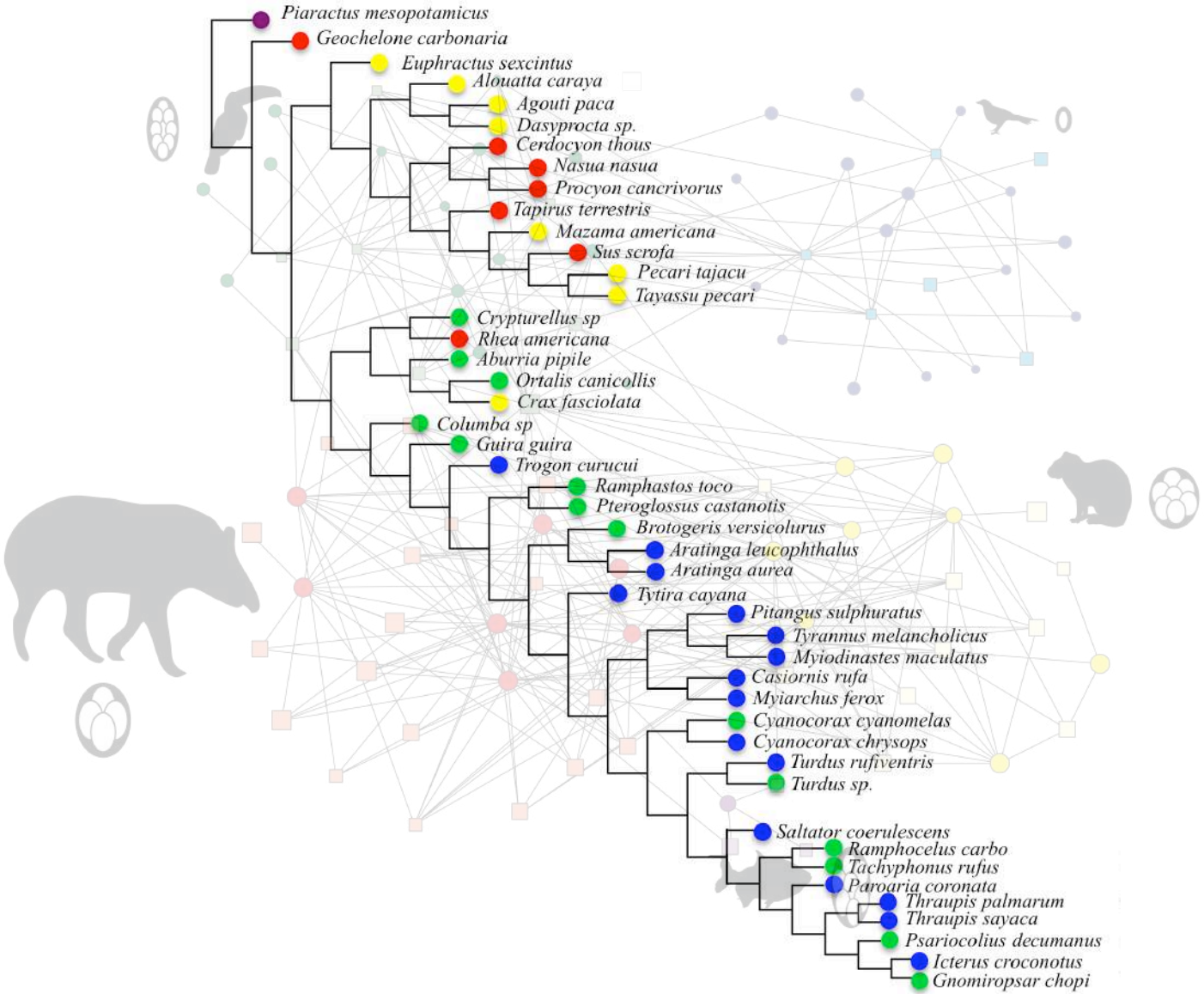
Araújo et al 2008. Ecology

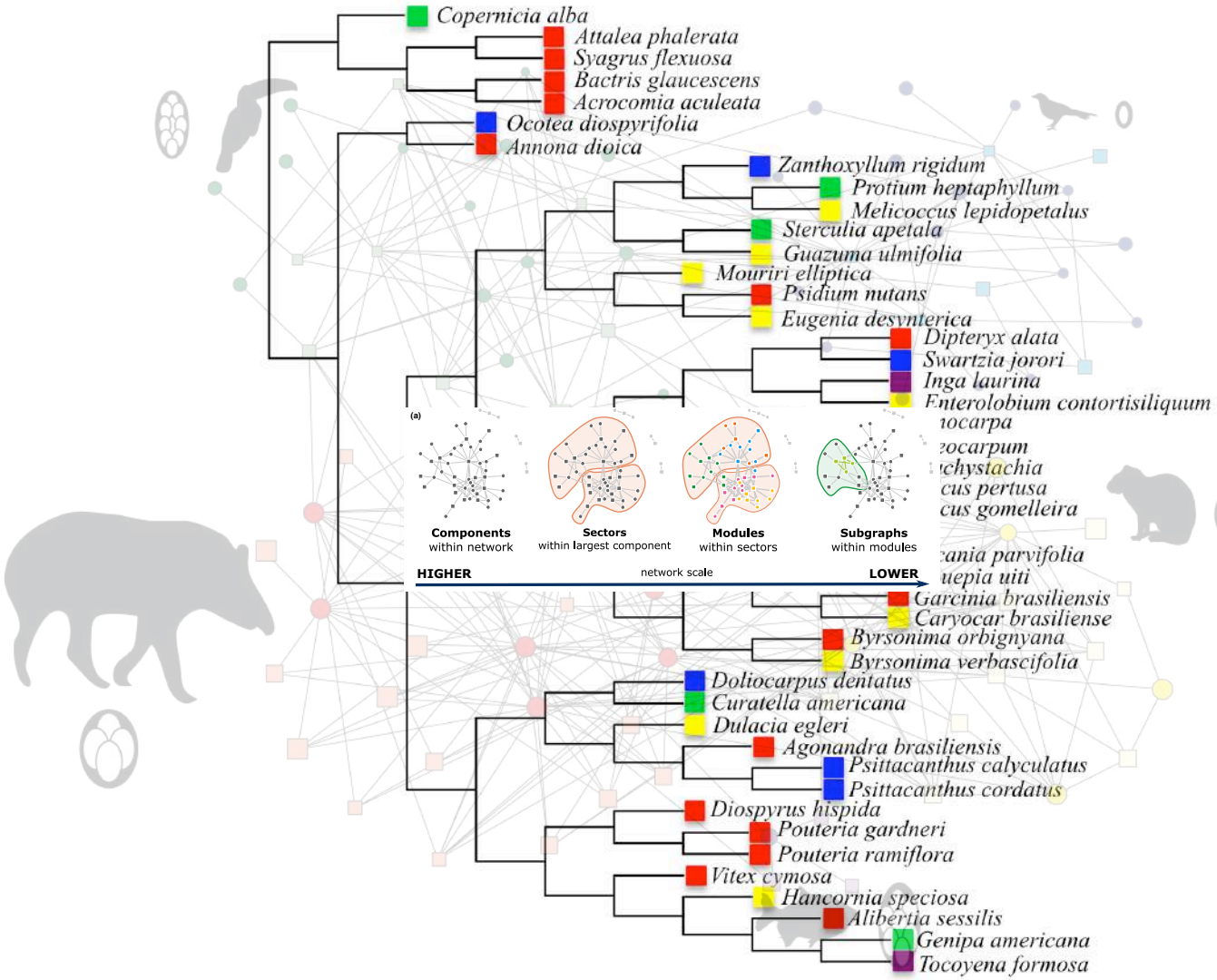
Modularidade

Traços & história evolutiva

Camila Donatti




Piaractus mesopotamicus
Geochelone carbonaria
Euphractus sexcintus
Alouatta caraya
Agouti paca
Dasyprocta sp.
Cerdocyon thous
Nasua nasua
Procyon cancrivorus
Tapirus terrestris
Mazama americana
Sus scrofa
Pecari tajacu
Tayassu pecari
Crypturellus sp
Rhea americana
Aburria pipile
Ortalis canicollis
Crax fasciolata
Columba sp
Guira guira
Trogon curucui
Ramphastos toco
Pteroglossus castanotis
Brotogeris versicolurus
Aratinga leucophthalus
Aratinga aurea
Tytira cayana
Pitangus sulphuratus
Tyrannus melancholicus
Myiodinastes maculatus
Casiornis rufa
Myiarchus ferox
Cyanocorax cyanomelas
Cyanocorax chrysops
Turdus rufiventris
Turdus sp.
Saltator coerulescens
Ramphocelus carbo
Tachyphonus rufus
Paroaria coronata
Thraupis palmarum
Thraupis sayaca
Psariocolius decumanus
Icterus croconotus
Gnomiropsar chopi


Copernicia alba
Attalea phalerata
Syagrus flexuosa
Bactris glaucescens
Acrocomia aculeata
Ocotea diospyrifolia
Annona dioica
Zanthoxyllum rigidum
Protium heptaphyllum
Melicoccus lepidopetalus
Sterculia apetala
Guazuma ulmifolia
Mouriri elliptica
Psidium nutans
Eugenia desynterica
Dipteryx alata
Swartzia jorori
Inga laurina
Enterolobium contortisiliquum
(a)
Components
within network
Sectors
within largest component
Modules
within sectors
Subgraphs
within modules
HIGHER
network scale
LOWER
Garcinia brasiliensis
Caryocar brasiliense
Byrsonima orbignyana
Byrsonima verbascifolia
Doliocarpus dentatus
Curatella americana
Dulacia egleri
Agonandra brasiliensis
Psittacanthus calyculatus
Psittacanthus cordatus
Diospyrus hispida
Pouteria gardneri
Pouteria ramiflora
Vitex cymosa
Hancornia speciosa
Alibertia sessilis
Genipa americana
Tocoyena formosa

Distância

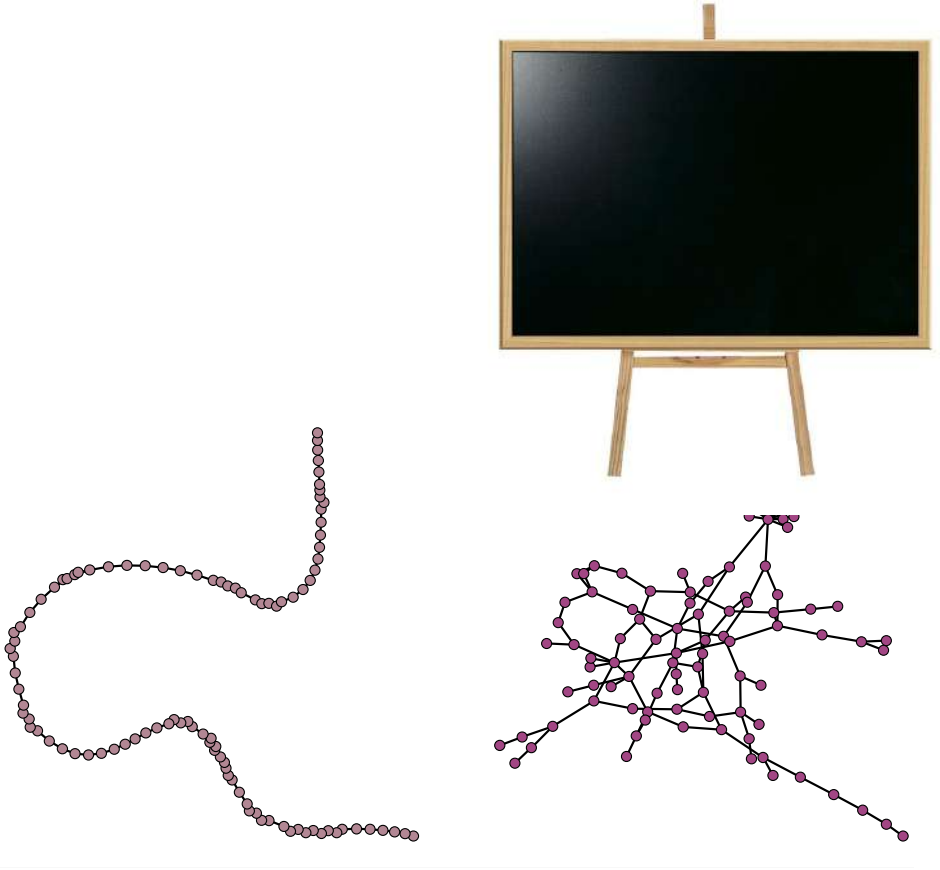
- Ponto (espécie):

  ✓ Distância média por ponto

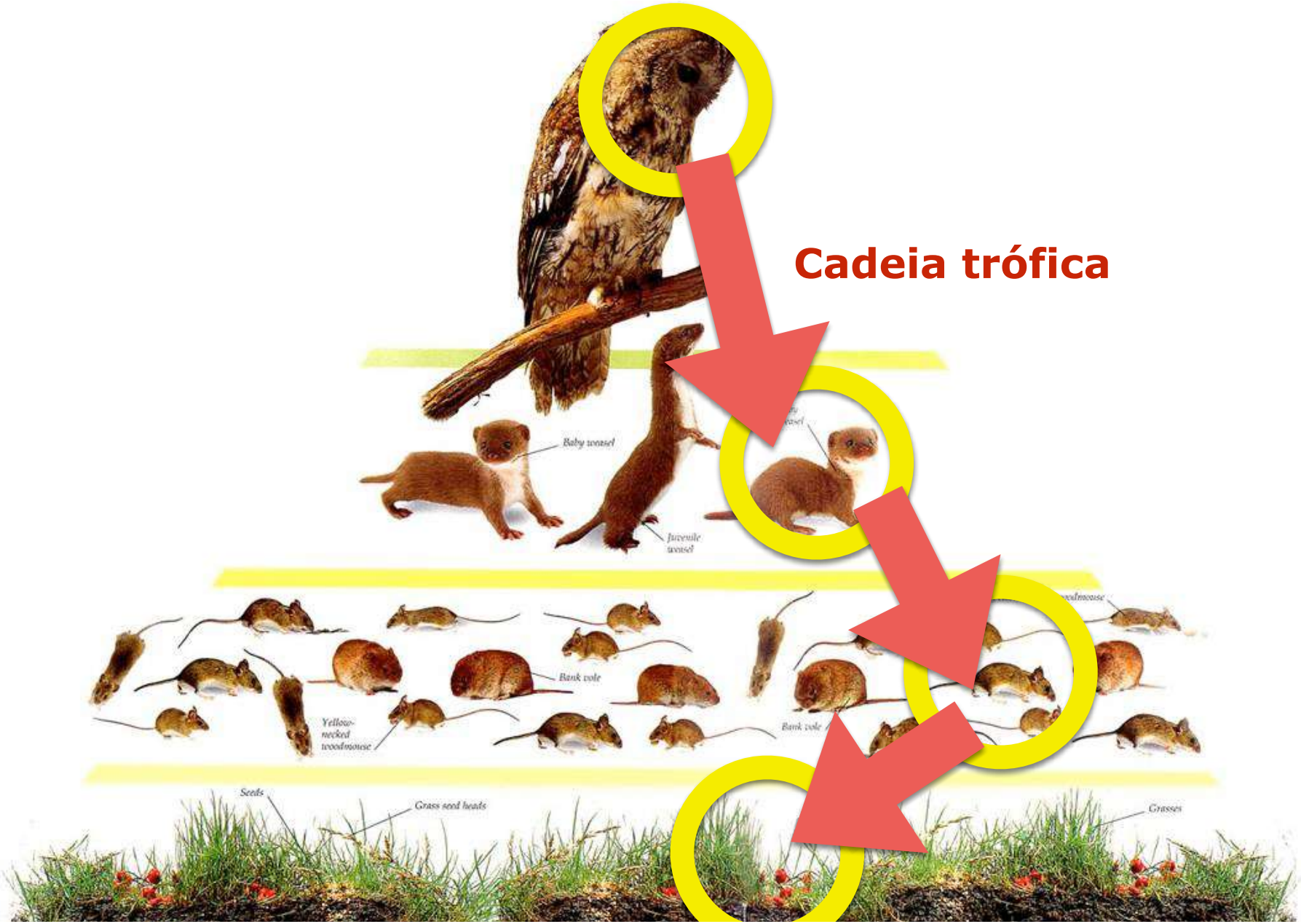
- Rede

  ✓ Comprimento médio do caminho

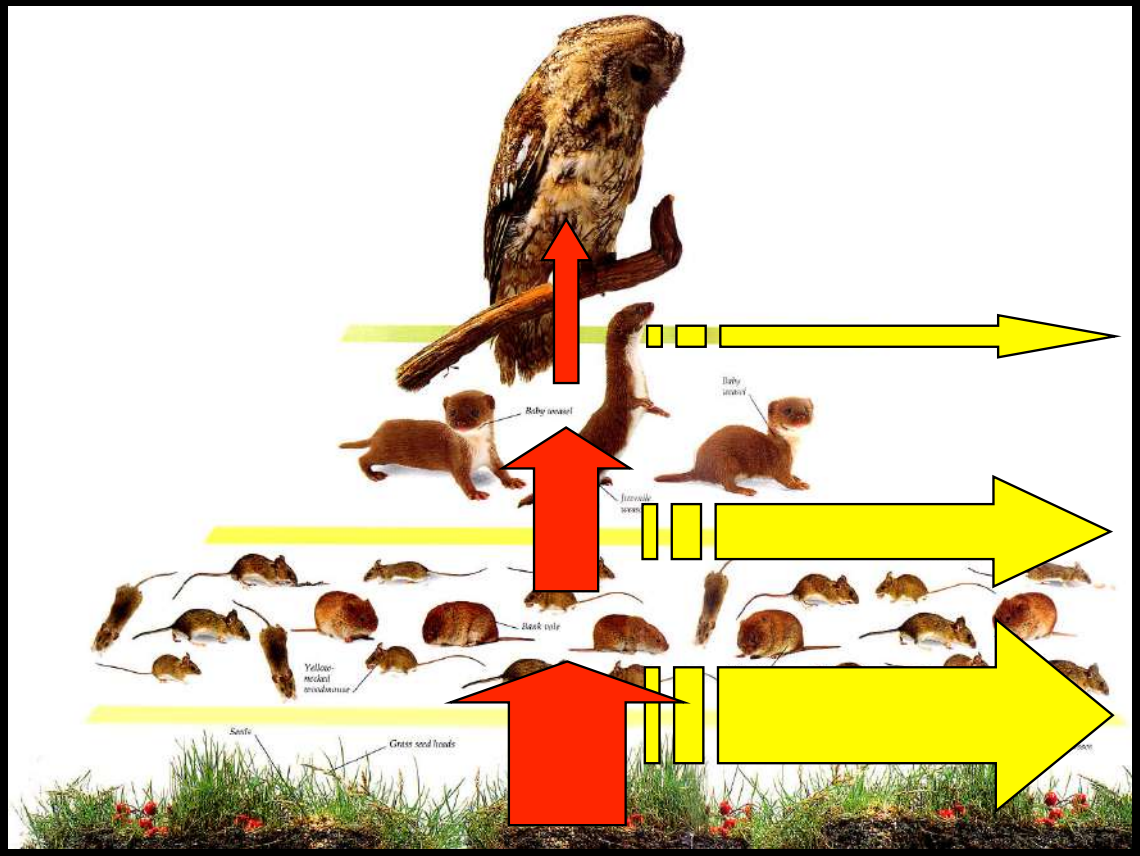
  ✓ Diâmetro



Supplemental Figure 11. Two theoretical graphs that have the same number of nodes (100 nodes) and the same number of links (114). On the left is a graph in which the distances between pairs of nodes in links are very large (average smallest path length, $\ell = 29.55$). On the right is a network in which short pathways connect pairs of nodes ($\ell = 5.97$).


Cadeia trófica
Baby weasel
Juvenile weasel
Bank vole
Yellow-necked woodmouse
Bank vole
Seeds
Grass seed heads
Grasses

Não há energia disponível para muitos níveis tróficos

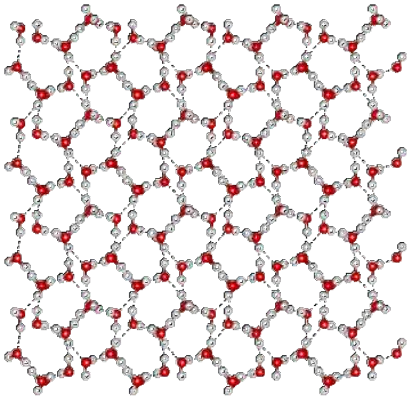


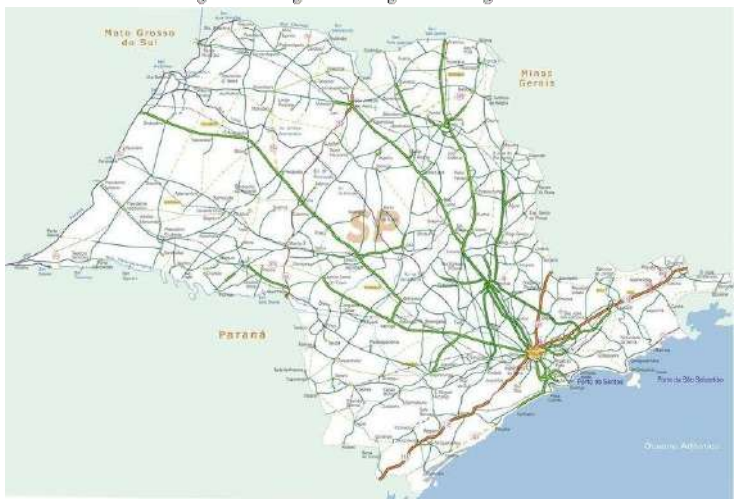
Dissipação de energia

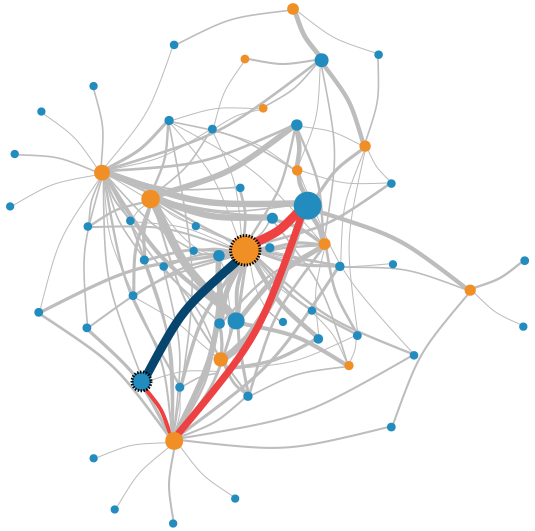
Lindeman 1942

O efeito mundo pequeno

Caminhos curtos ligam pontos em redes ecológicas







SmallWorlds

Parque Nacional da Tijuca – Rio de Janeiro, Brazil

Uma floresta que estava vazia

1970s

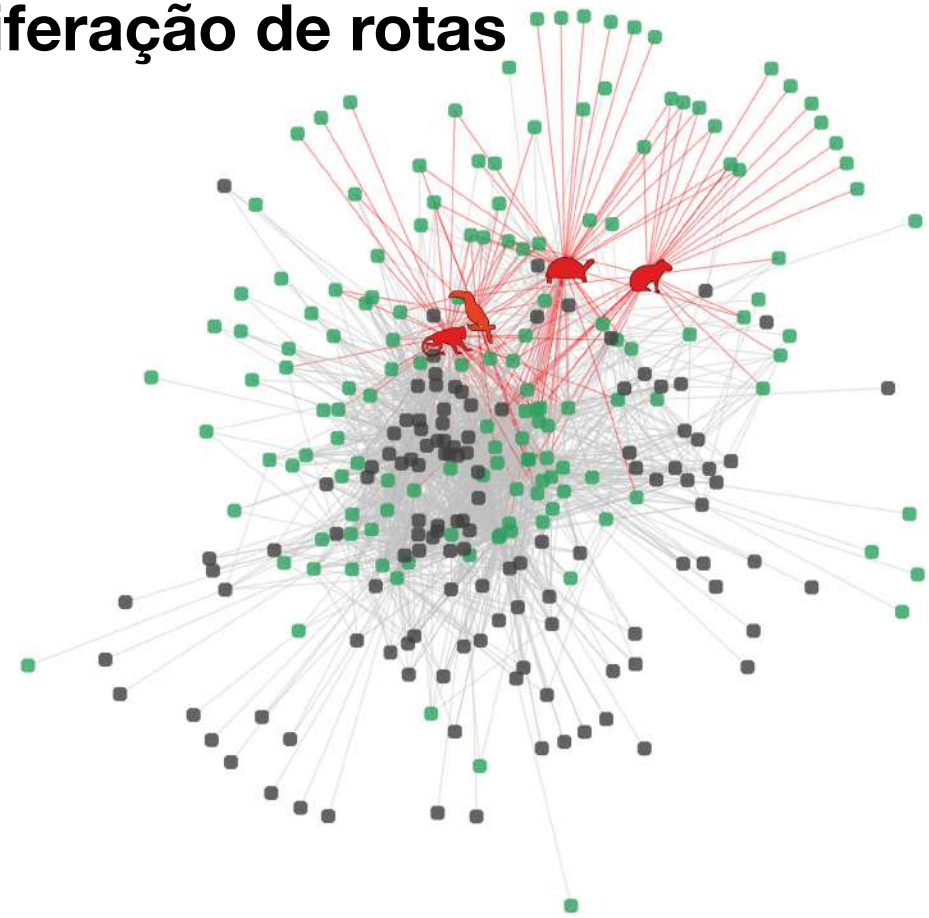
2009

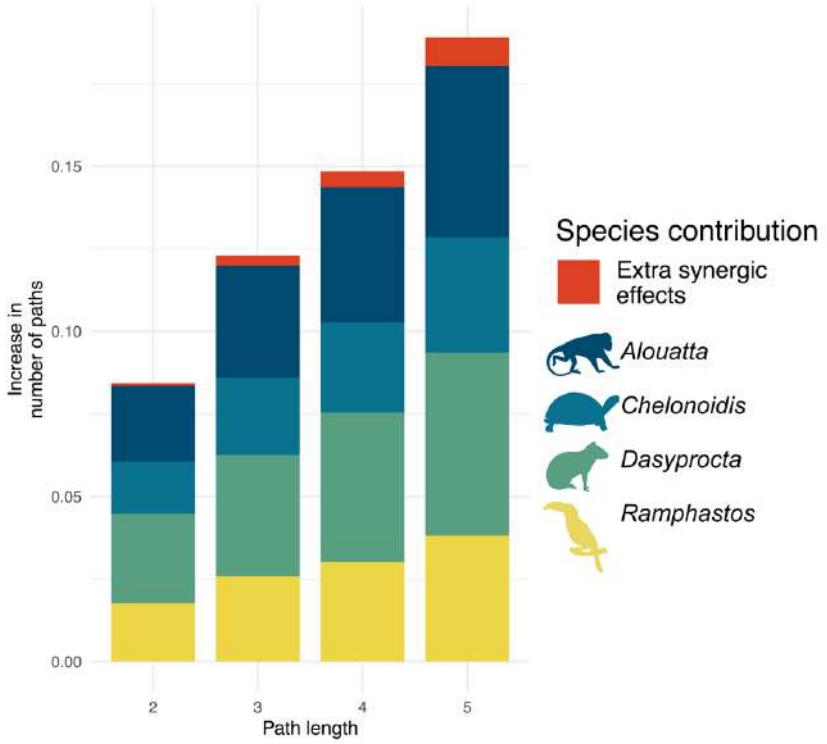
2015

2018

Caminhos indiretos

A proliferação de rotas

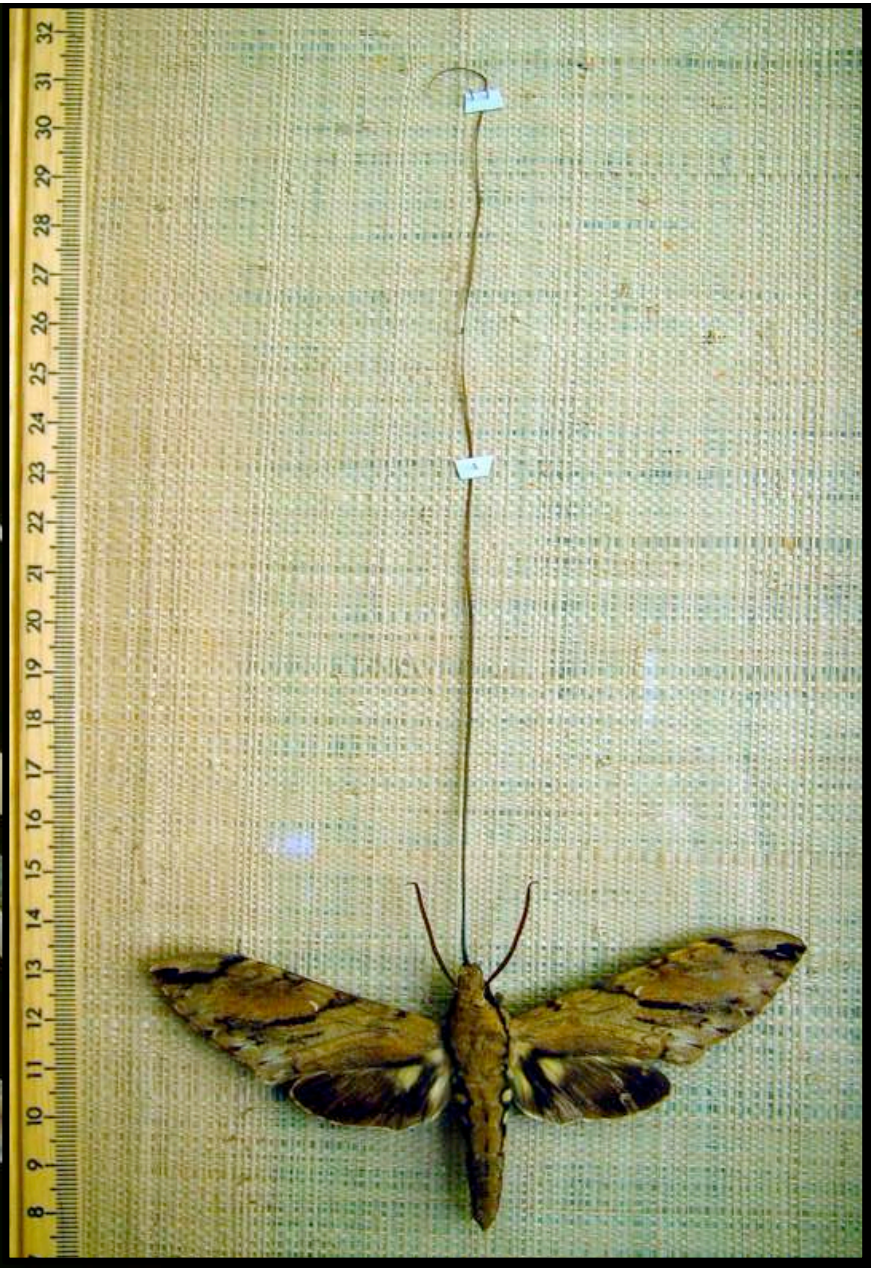




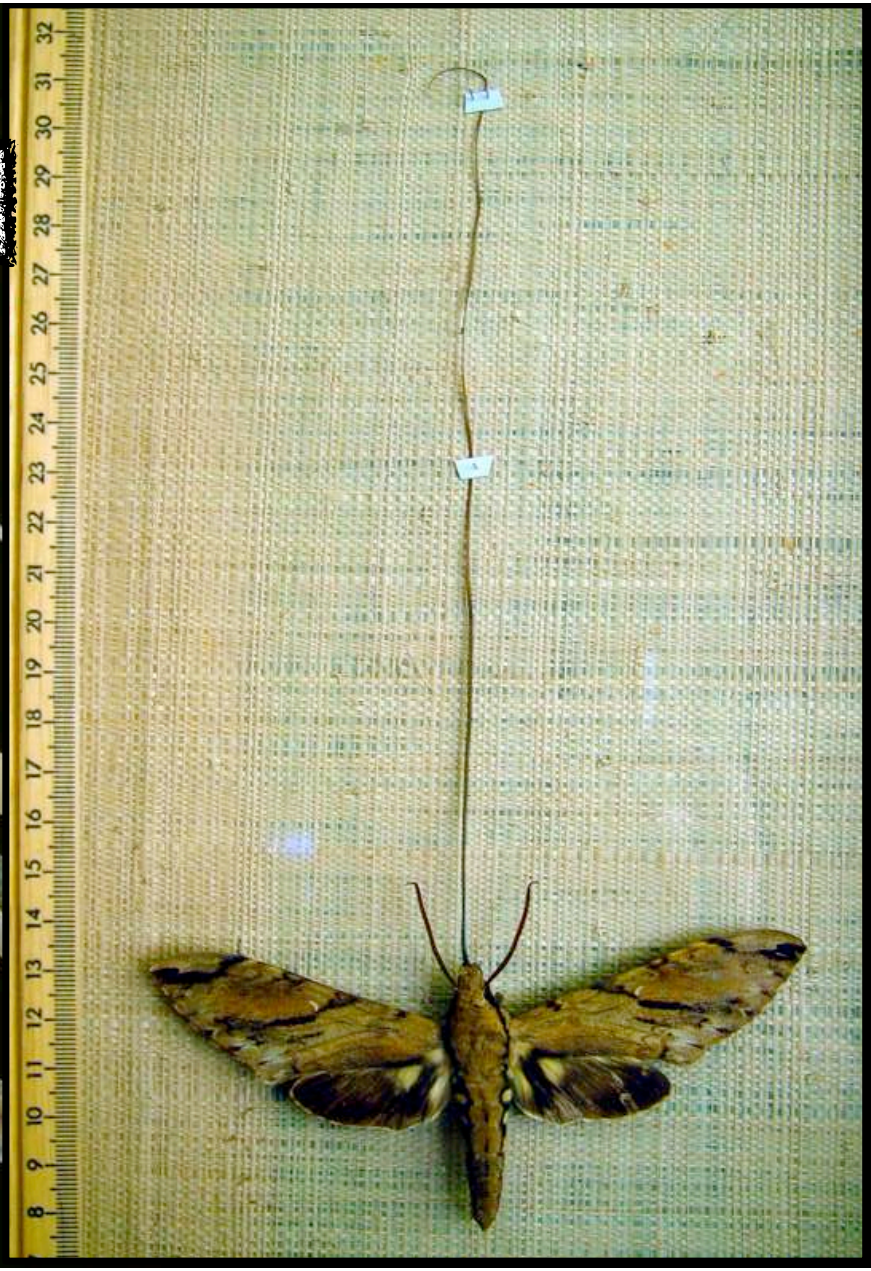
Mittelman et al. 2022. Oikos

Aula 2: Estrutura

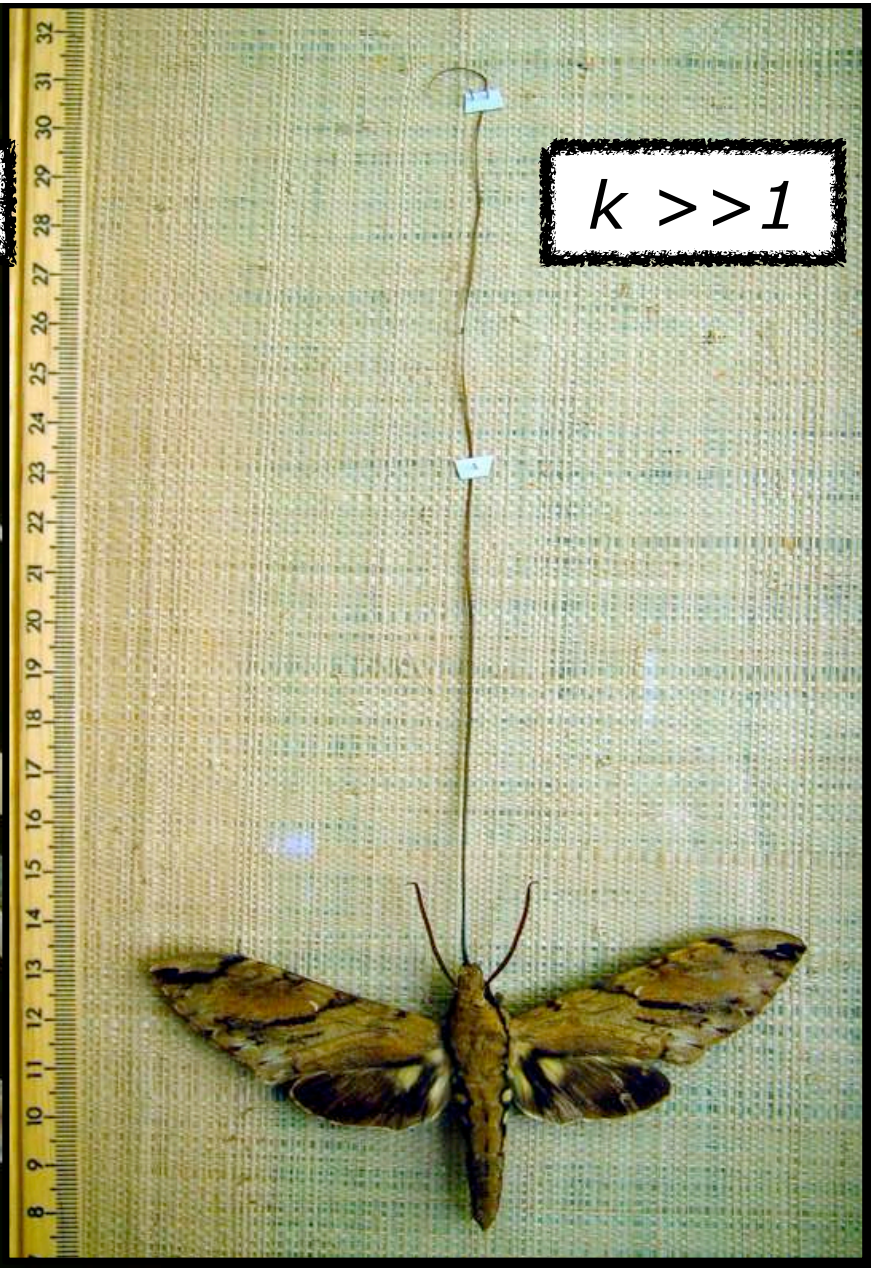
- A trindade: conectividade, modularidade e distância
- **Assimetrias e sobreposição**
- Centralidade
- Resumo

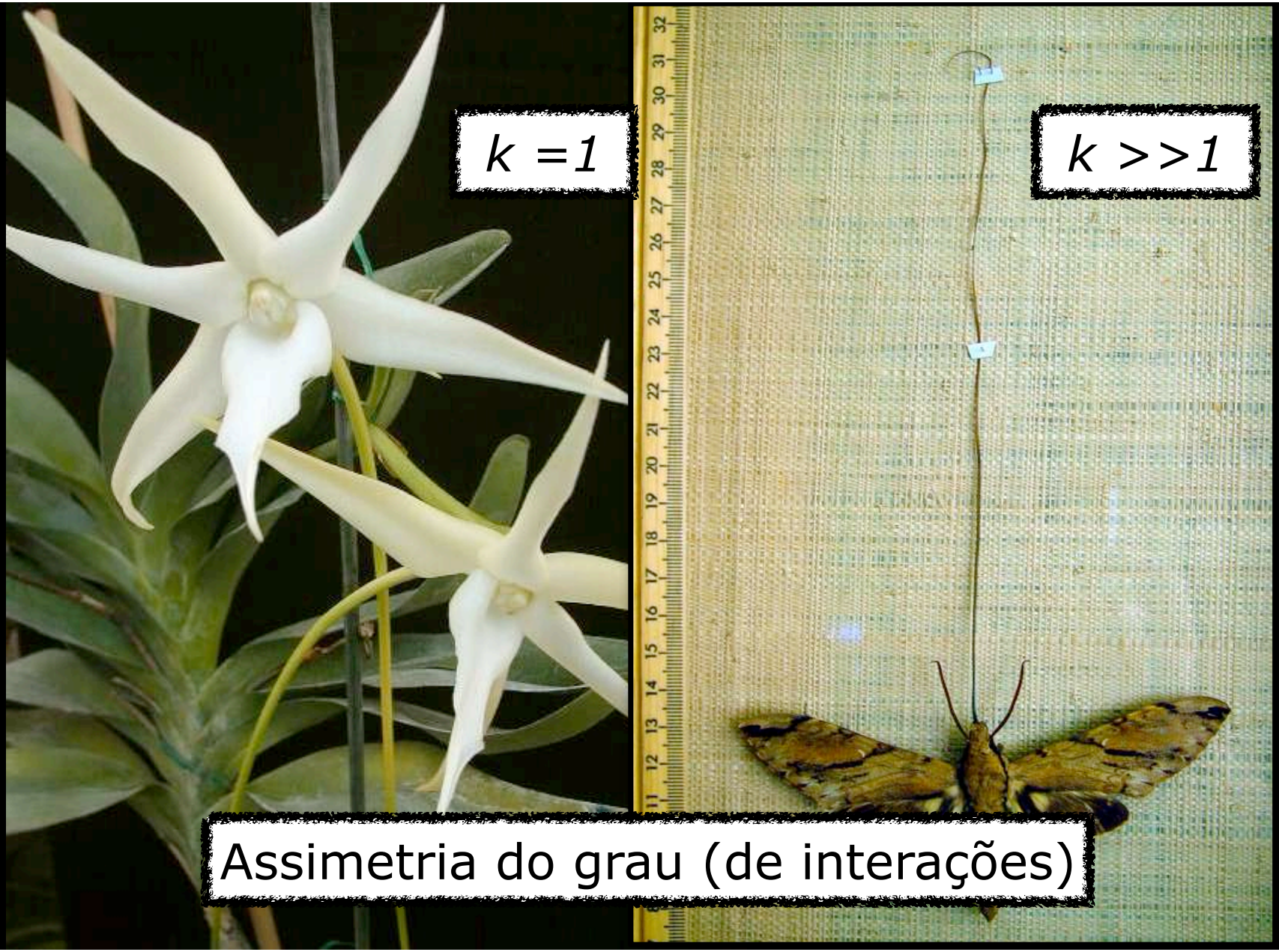



k =1



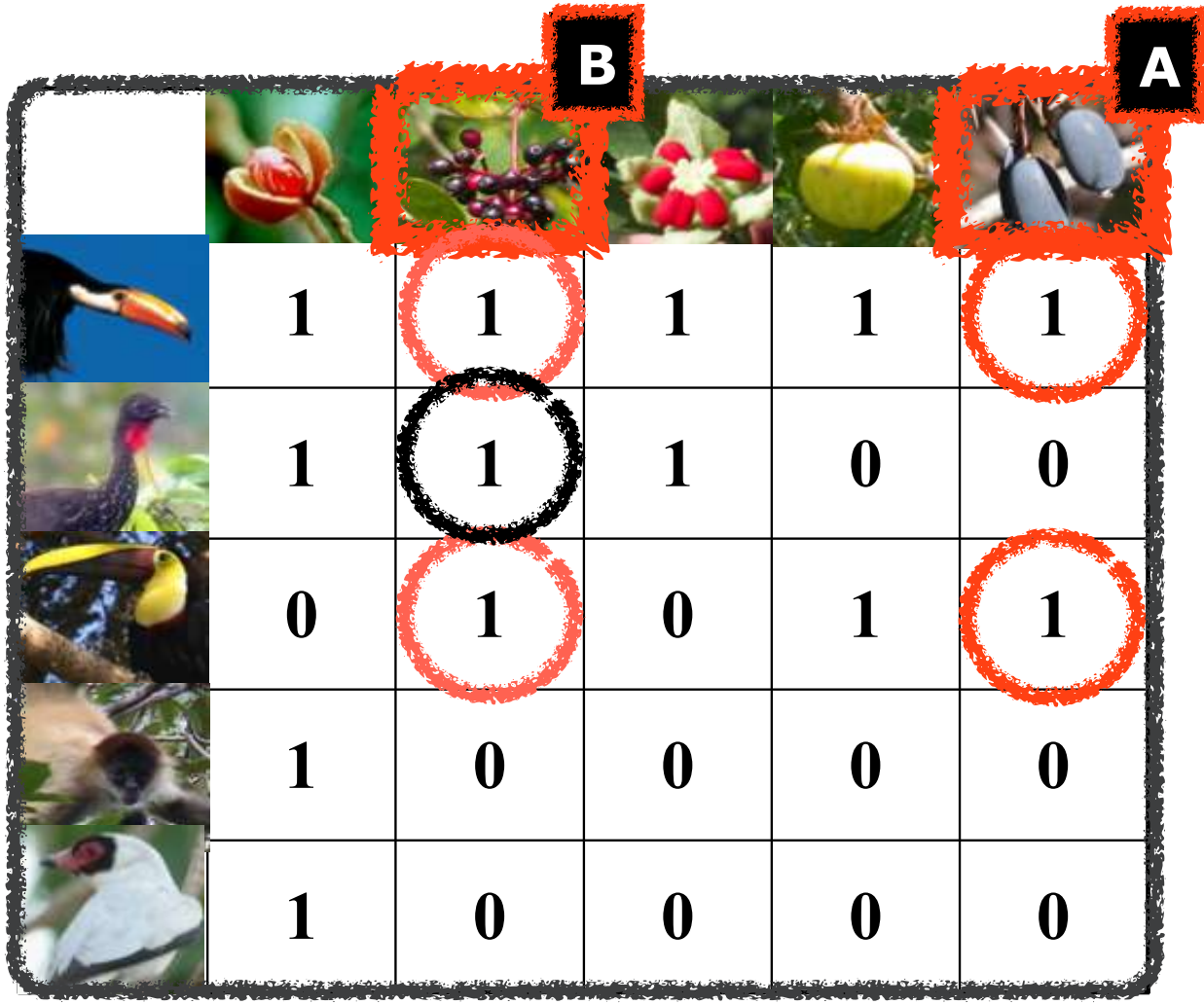

k =1


k >>1


k =1
k >>1
Assimetria do grau (de interações)

Sobreposição

- Pares de espécie
  - ✓ Índice de Jaccard
- Rede
  - ✓ Índice de Jaccard médio
  - ✓ Assortatividade
  - ✓ Modularidade (já falamos)

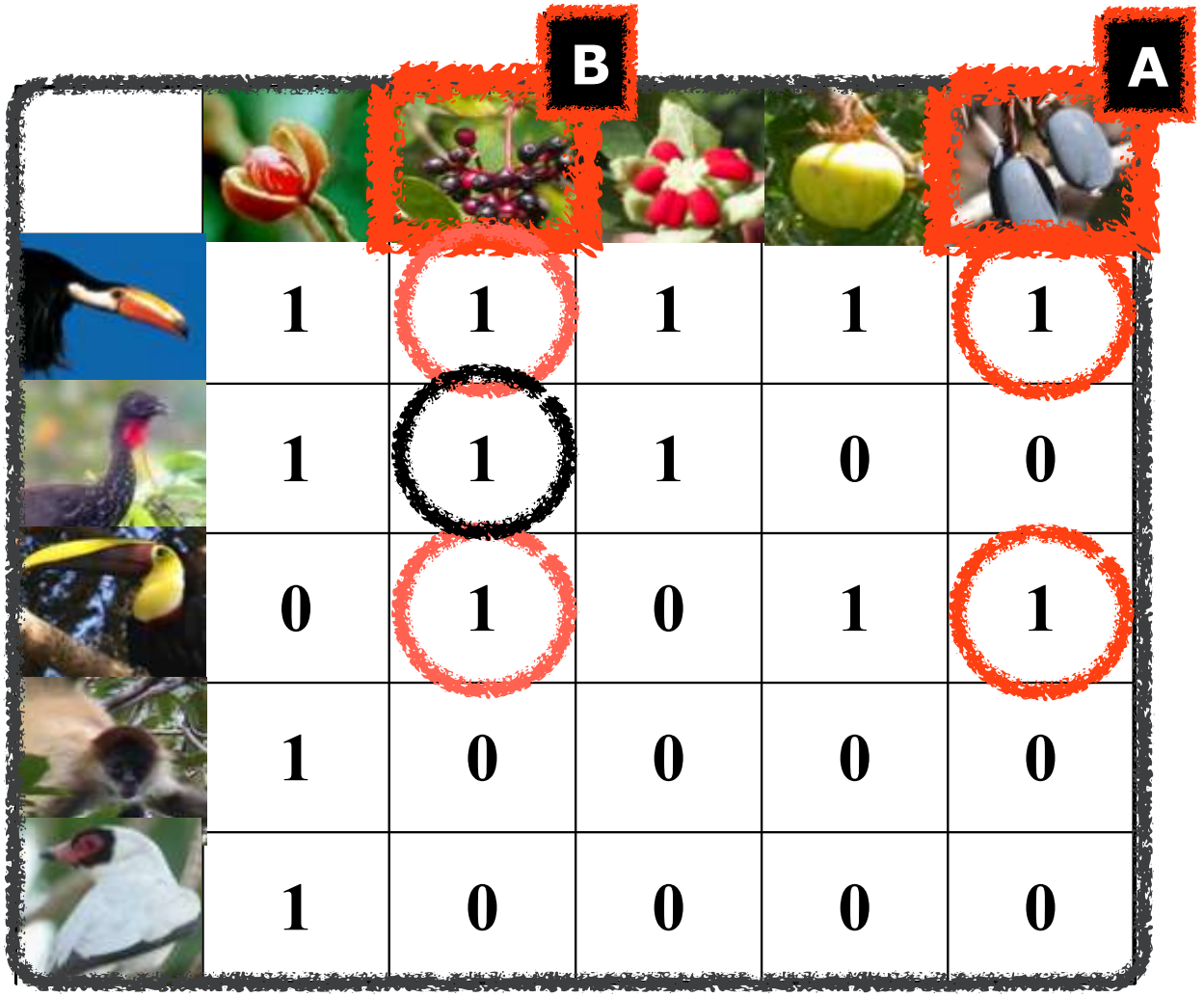


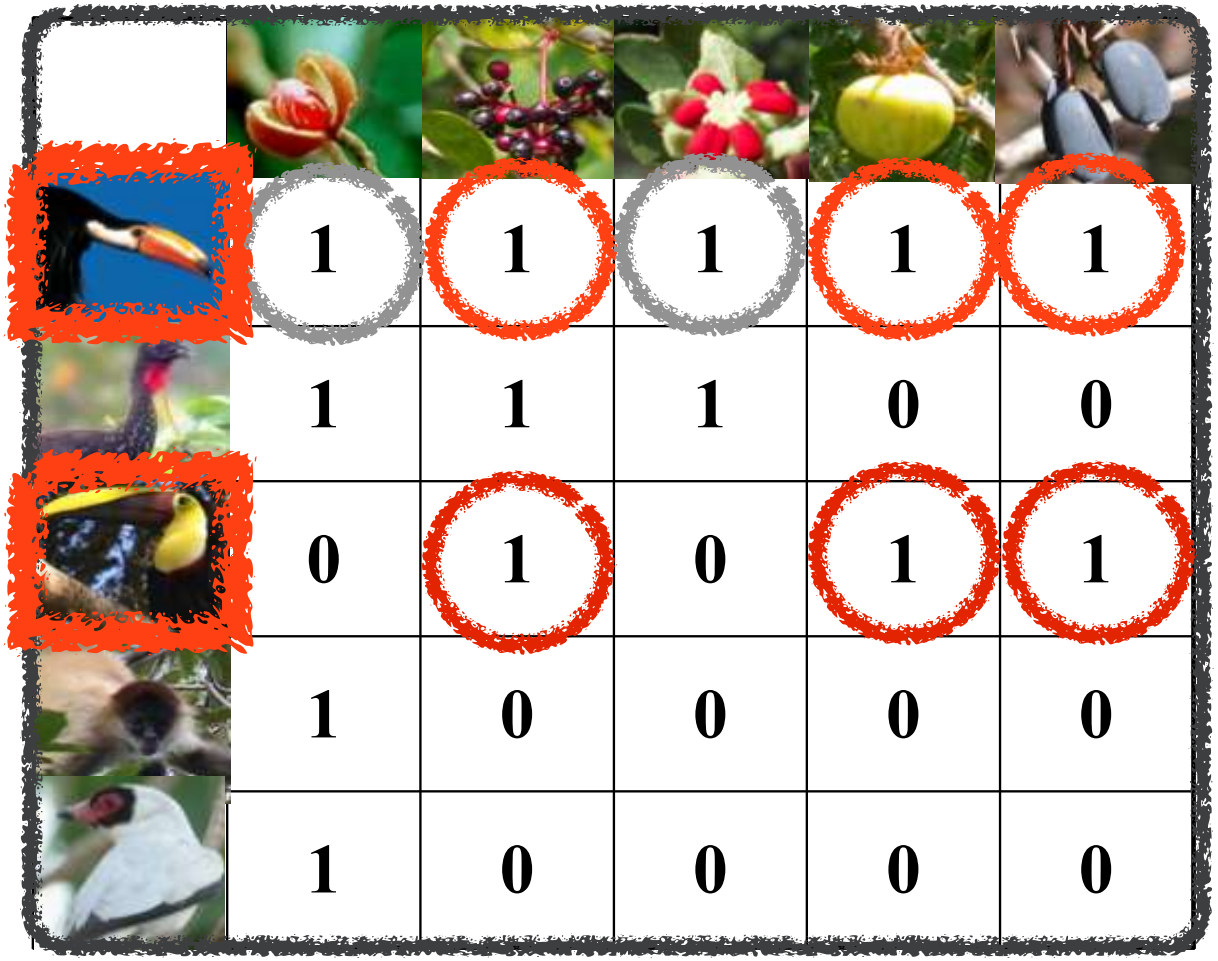
Aninhamento: combinando assimetria e sobreposição

- NODF:Índice de Jaccard assimétrico

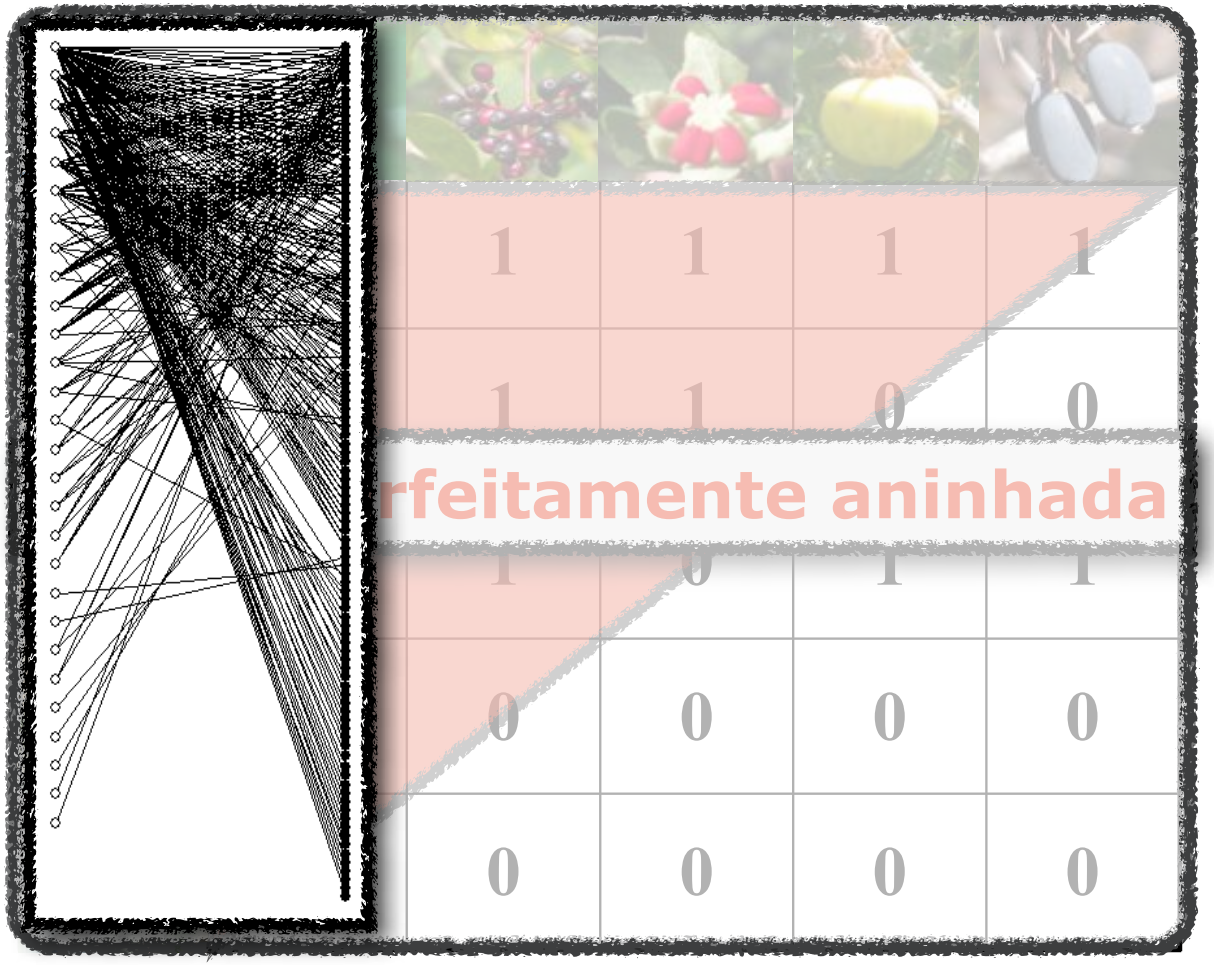
Mario Almeida-Neto

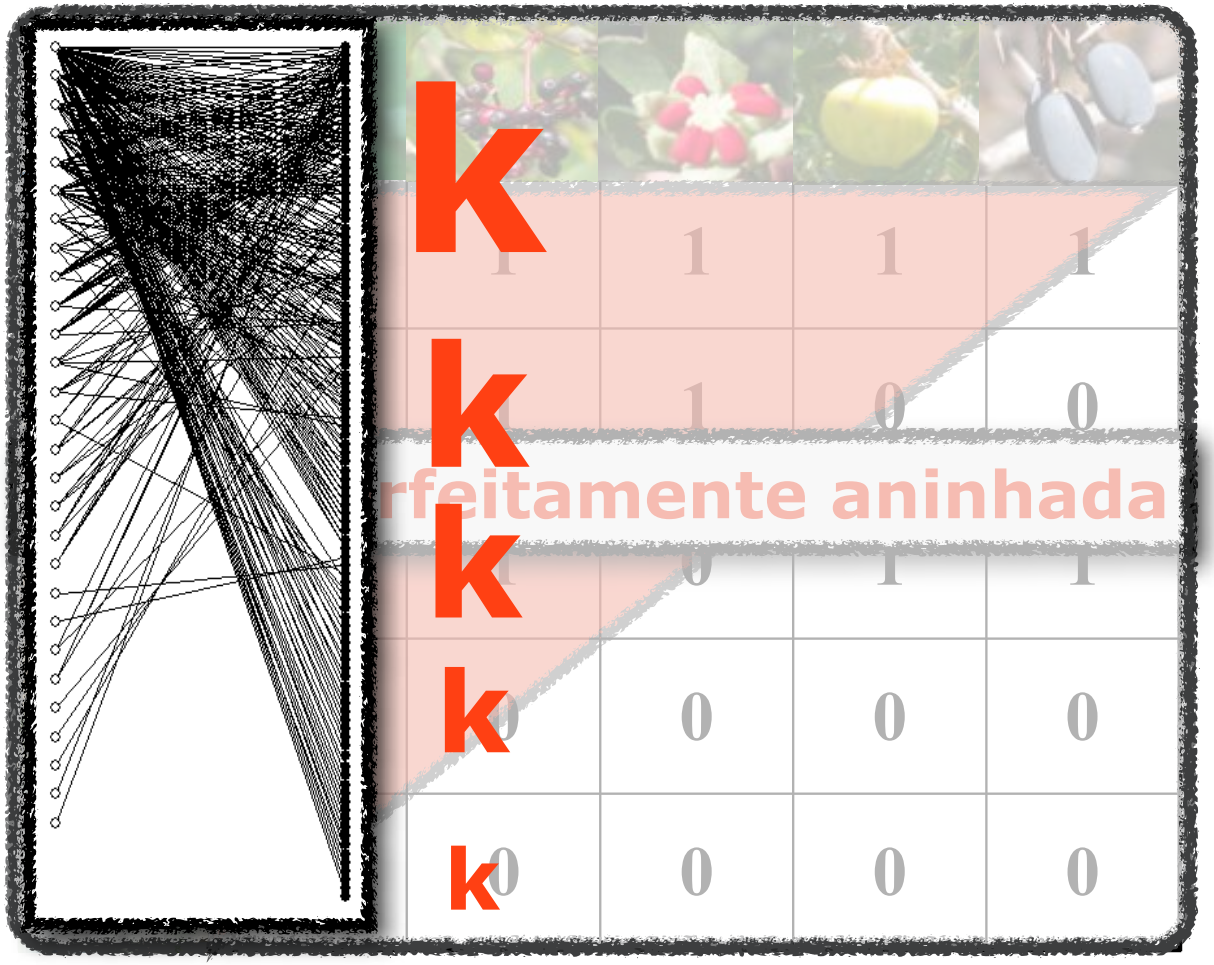
Meu pai :)




1 1 1 1 1
1 1 1 0 0
0 1 0 1 1
1 0 0 0 0
1 0 0 0 0

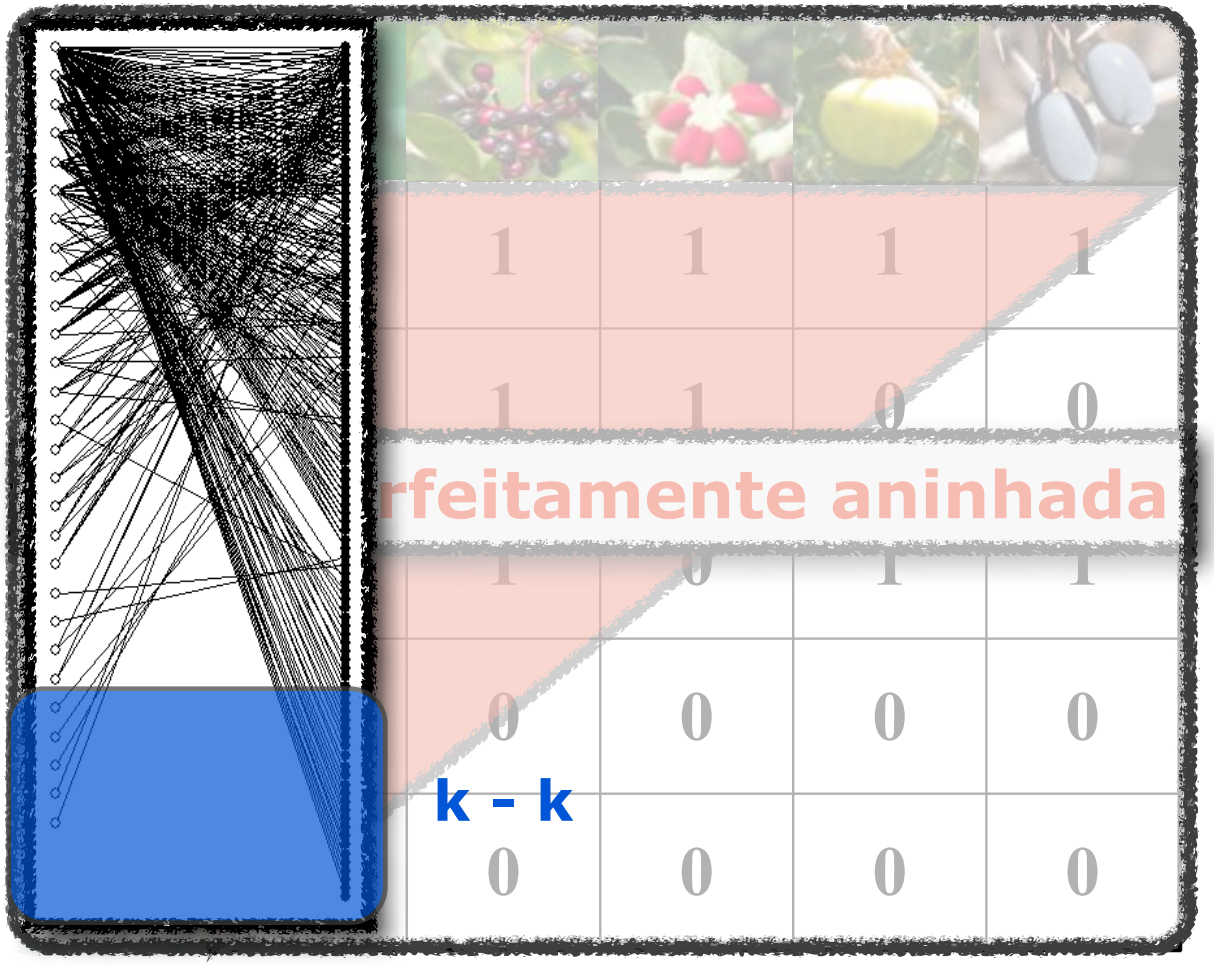

1 1 1 1 1
1 1 1 0 0
0 1 0 1 1
1 0 0 0 0
1 0 0 0 0
Matriz perfeitamente aninhada


1 1 1 1
1 1 0 0
rfeitamente aninhada
1 0 1 1
0 0 0 0
0 0 0 0


k
1 1 1
k
1 1 0
rfeitamente aninhada
k
1 0 1
k
0 0 0
k
0 0 0


k - k
1 1 1 1
1 1 0 0
rfeitamente aninhada
1 0 1 1
0 0 0 0
0 0 0 0


k - k
rfeitamente aninhada


1 1 1 1
1 1 0 0
rfeitamente aninhada
1 0 1 1
0 0 0 0
k - k
0 0 0 0

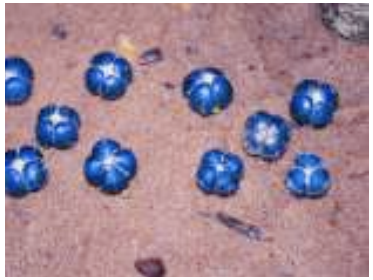










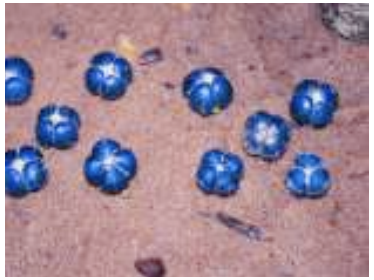










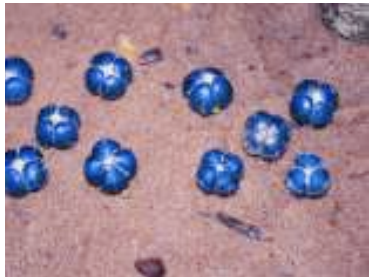






















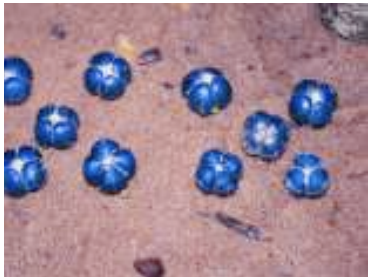




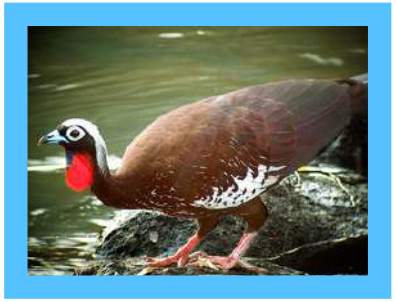












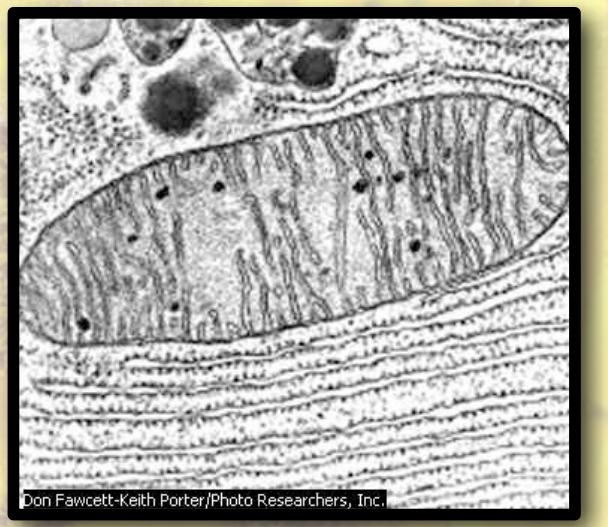


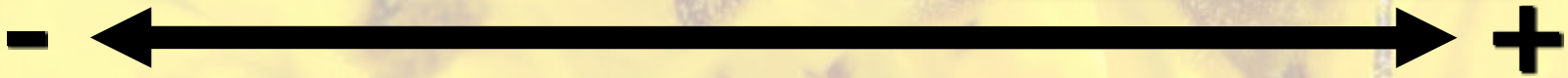





Atributos dos mutualismos

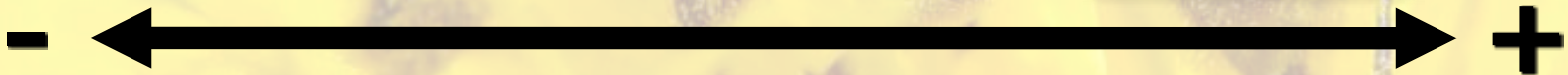
1. Dependência física





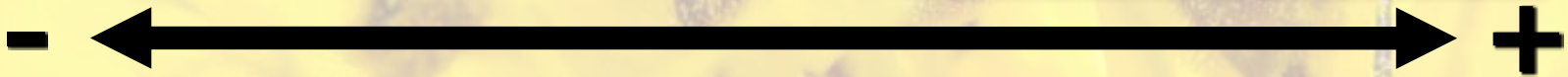
Atributos dos mutualismos

2. Dependência trófica



Atributos dos mutualismos

3. Integração fisiológica / dependência física



Intimidade de interação

\- +

Não - simbióticas **Simbióticas**

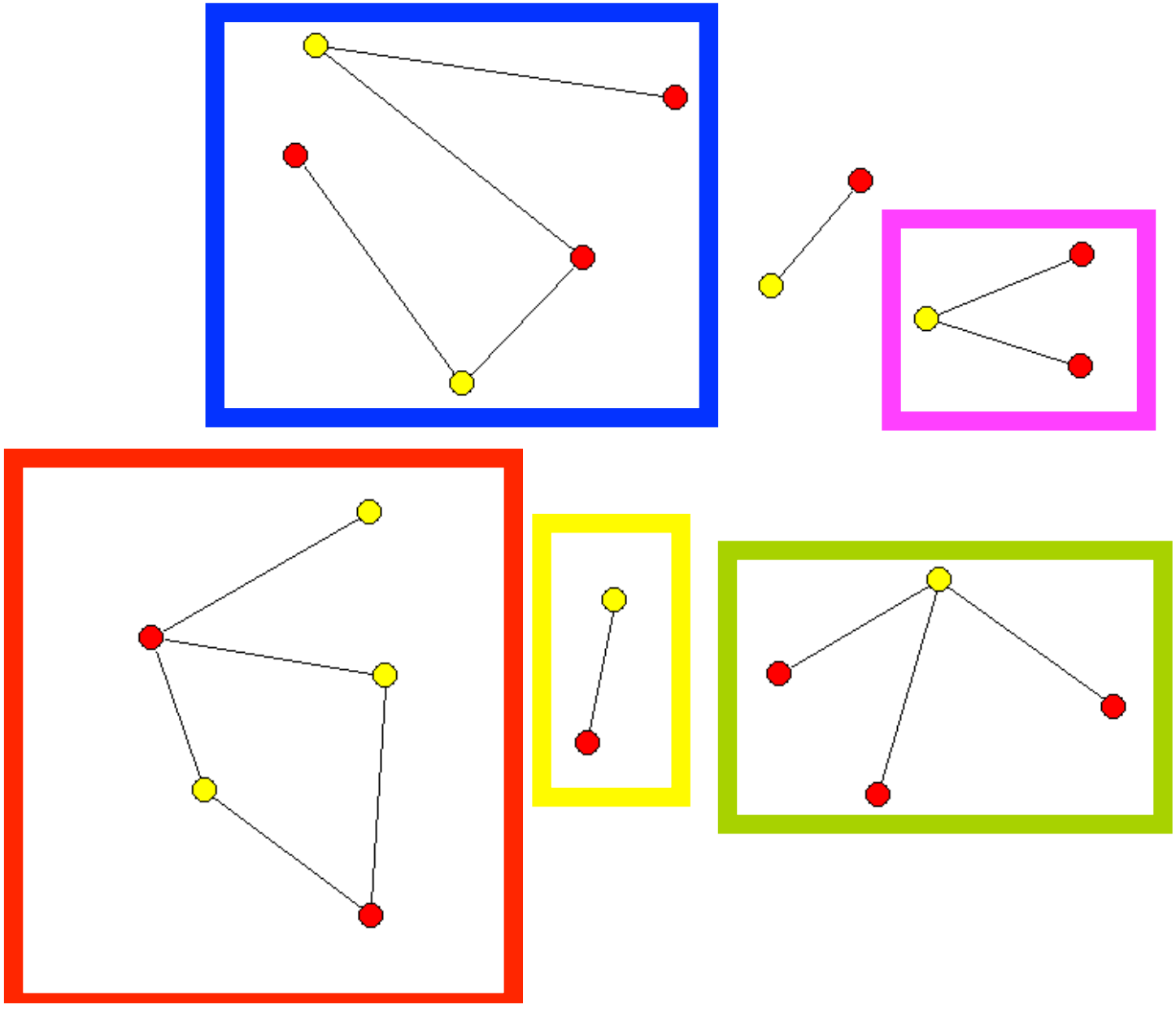
Intimidade de interação

\-

\+

Não - simbióticas

Simbióticas



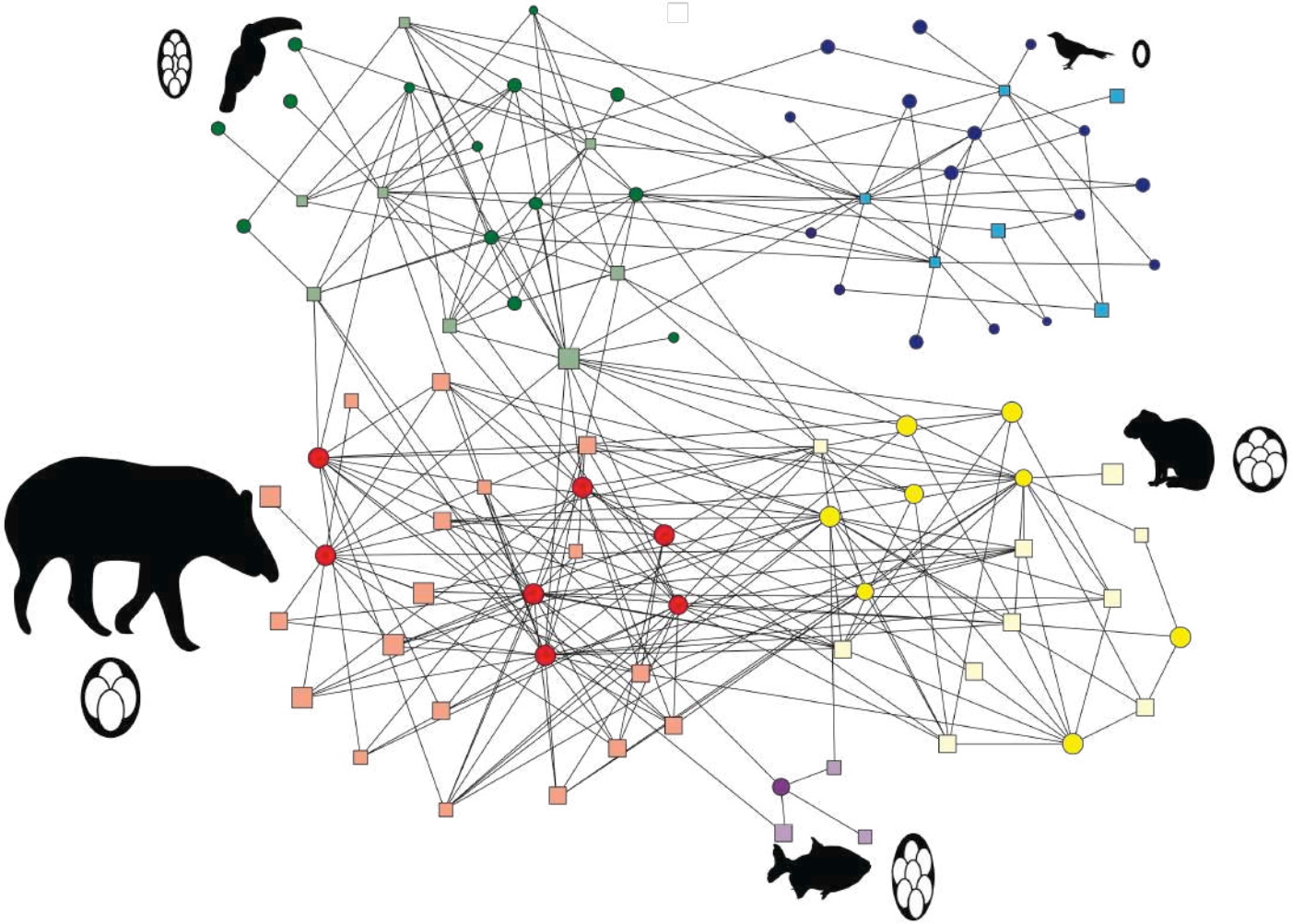

Similar aos antagonismos

Intimidade de interação

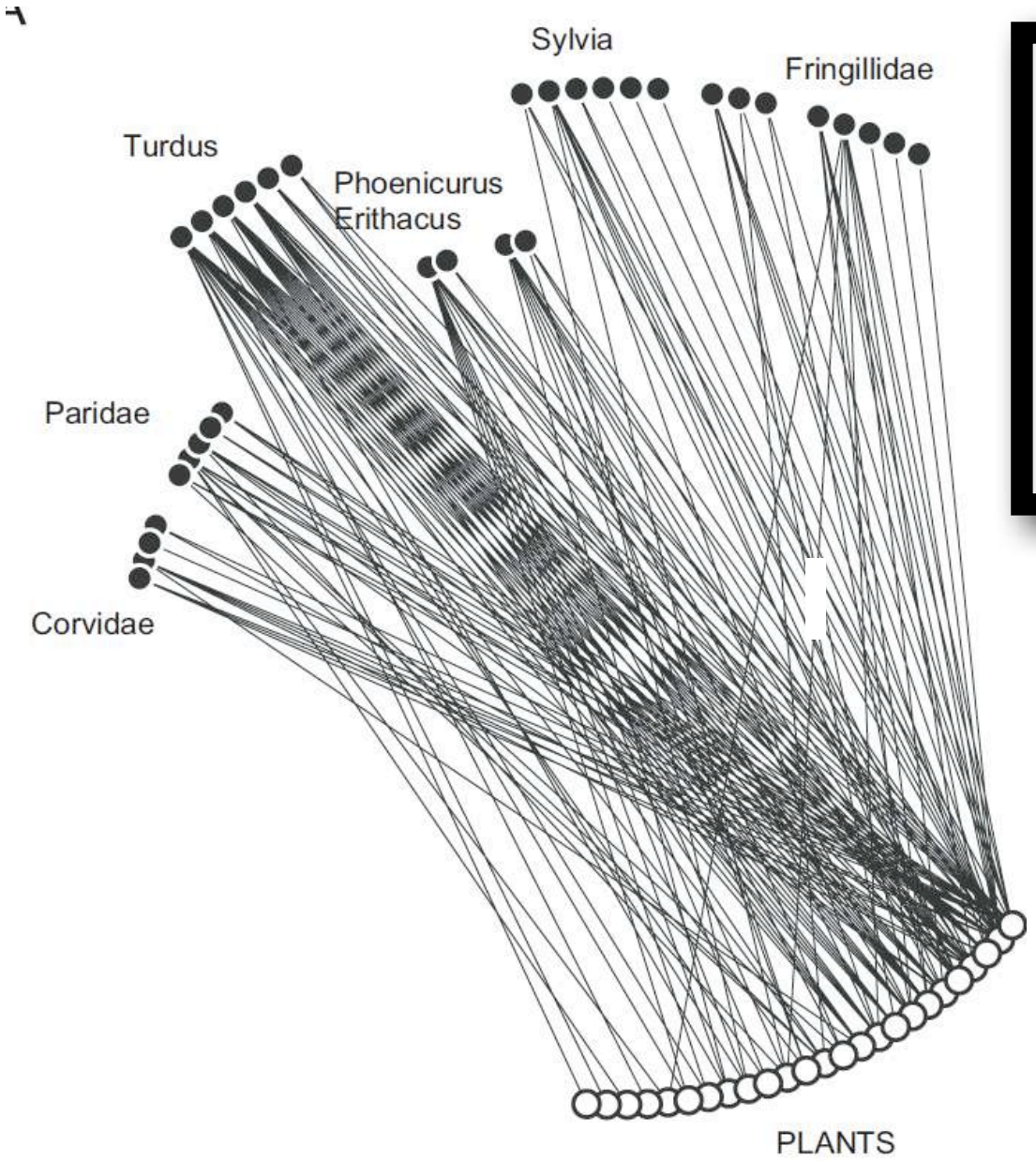
\- ← → +

Não - simbióticas

Simbióticas

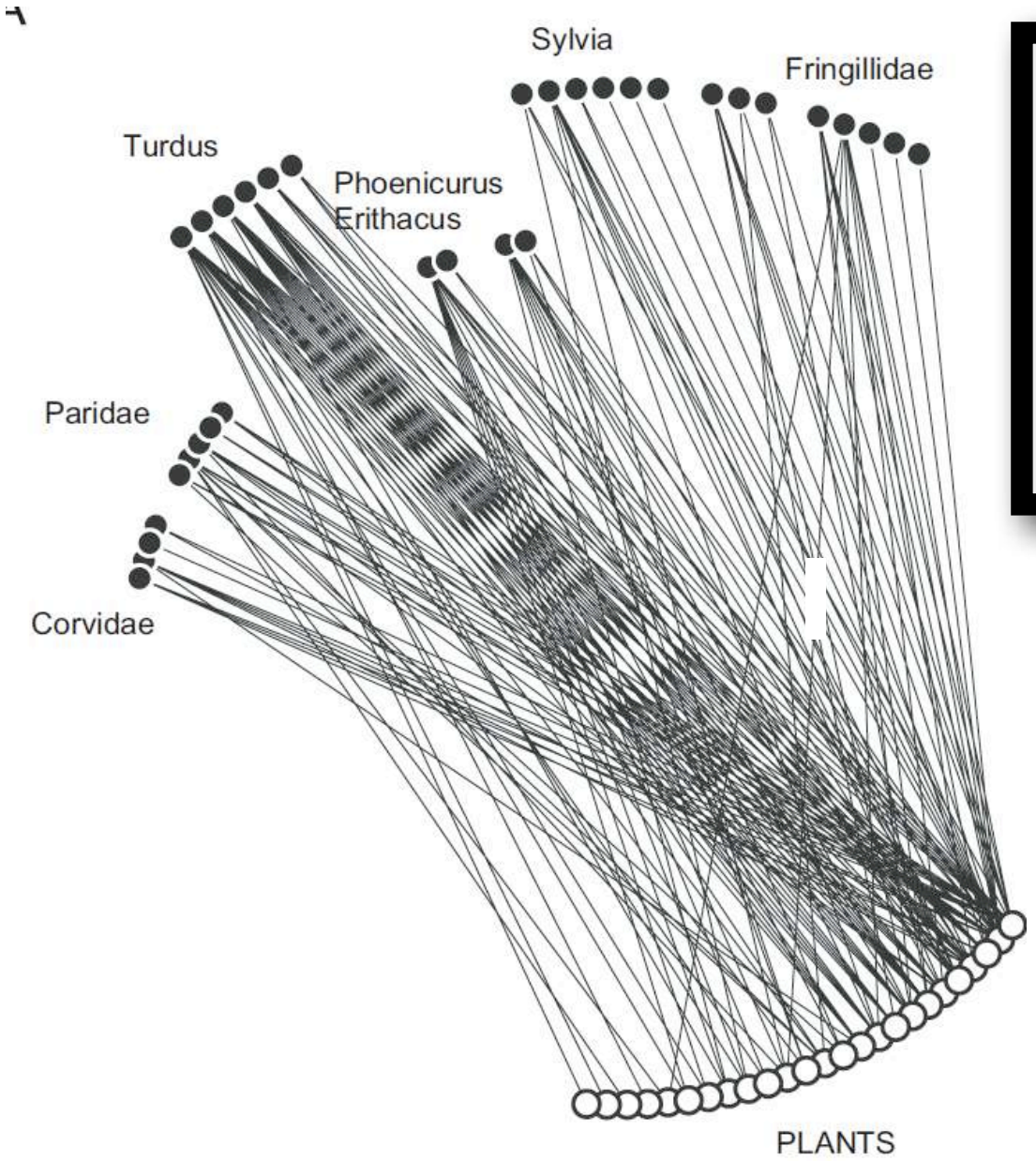


Donatti et al. 2011. *Ecology Letters*



Características

- **Baixa modularidade**



Características

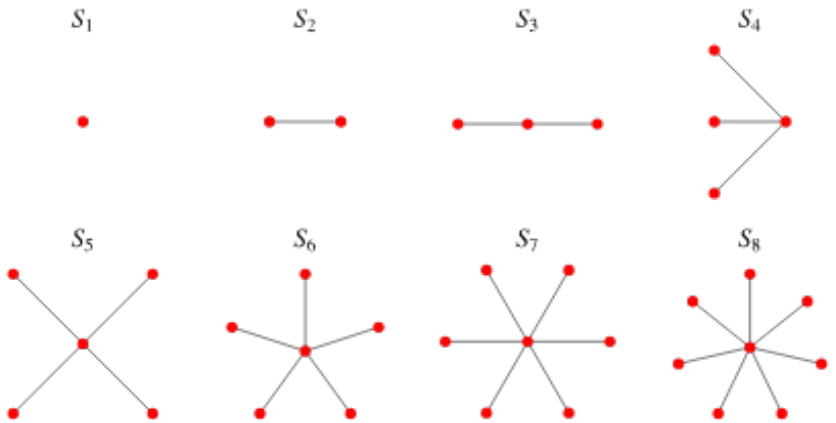
- **Baixa modularidade**
- **Aninhamento**


JP Krajewski

Aula 2: Estrutura

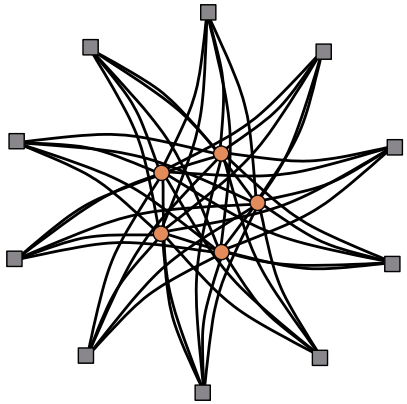
- A trindade: conectividade, modularidade e distância
- Assimetrias e sobreposição
- **Centralidade**
- Resumo

Centralidade

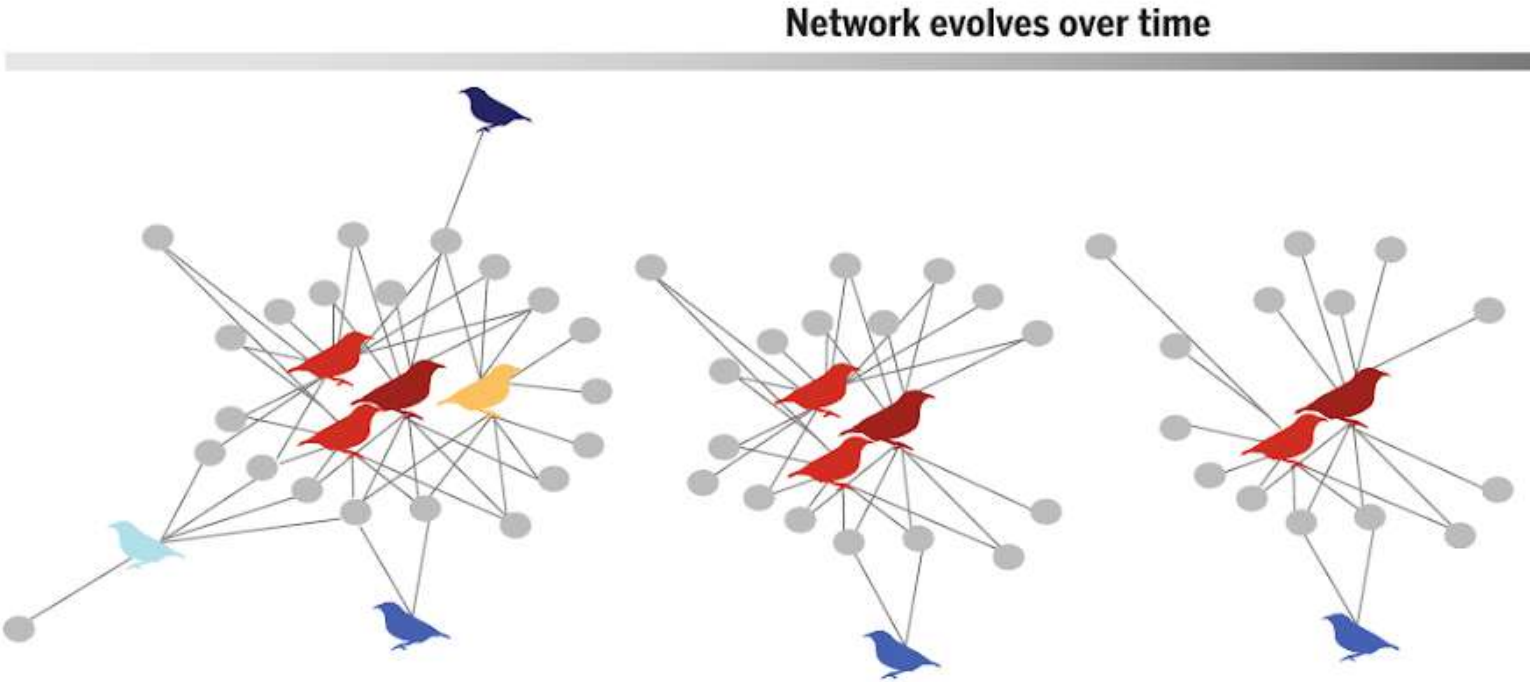


- Ponto (espécie) - Centralidade:
  - ✓Grau (conectividade)
  - ✓Proximidade (distância curta)
  - ✓Intermédio (no meio das distâncias curtas)
  - ✓Hubs da rede, Hubs de módulos e conectores de módulos (Modularidade)

- Rede - Centralização
  - ✓Média das centralidades
  - ✓Amplitude das centralidades



Processos evolutivos e a centralidade



Gustavo Burin

Tiago Quental

Burin et al. 2021. Science

Processos evolutivos e a centralidade

1. Baixas taxas de extinção

Gustavo Burin

2. Altas taxas de diversificação

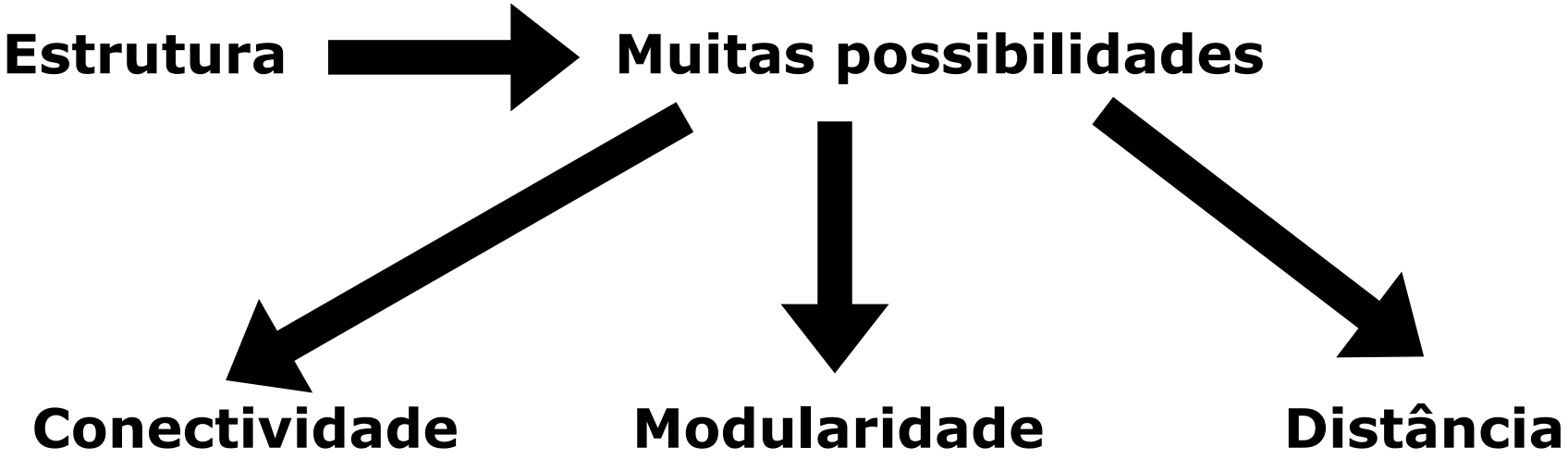
Tiago Quental

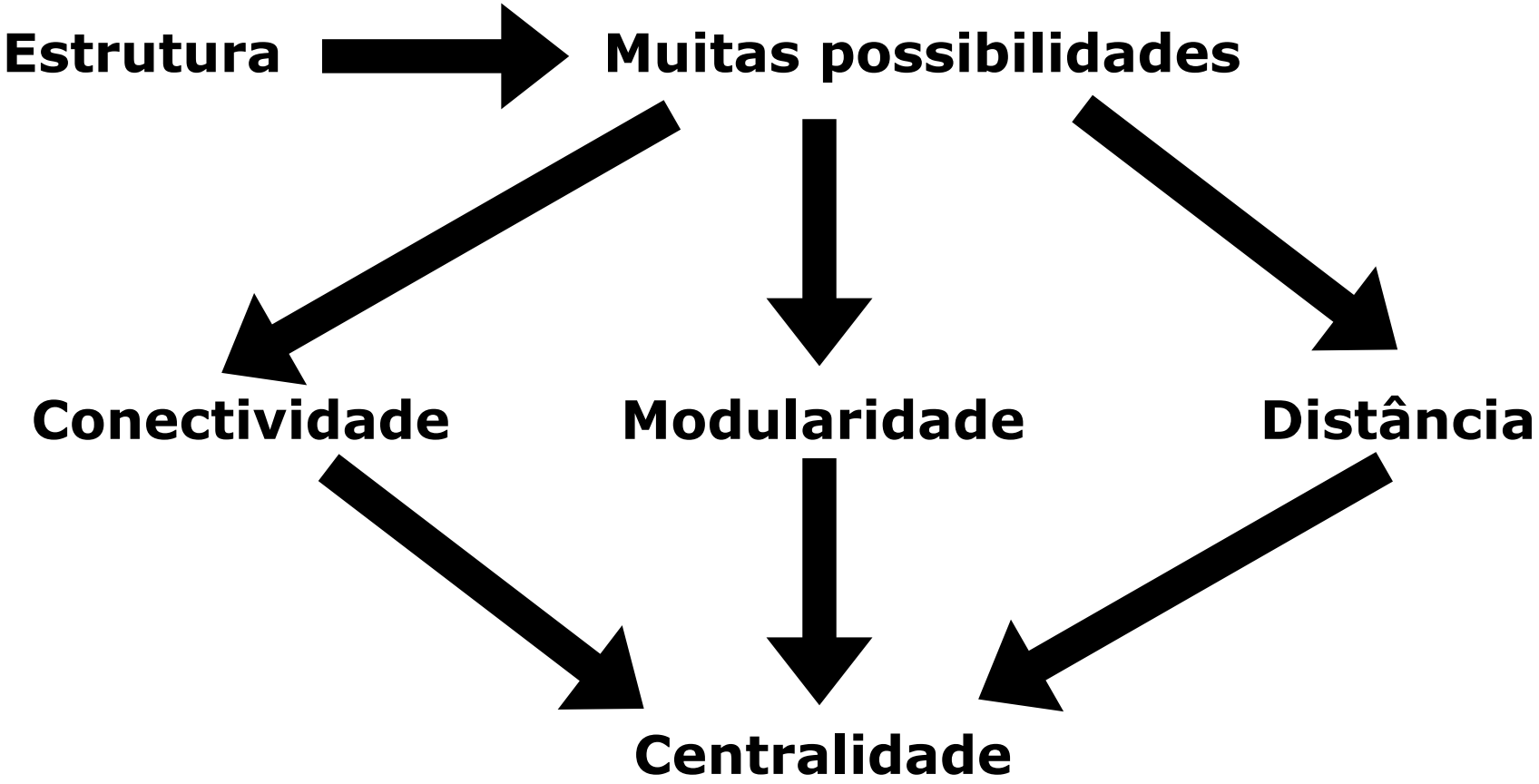
Burin et al. 2021. Science

Aula 2: Estrutura

- A trindade: conectividade, modularidade e distância
- Assimetrias e sobreposição
- Centralidade
- **Resumo**

Estrutura  **Muitas possibilidades**


Estrutura
Muitas possibilidades
Conectividade
Modularidade
Distância


Estrutura
Muitas possibilidades
Conectividade
Modularidade
Distância
Centralidade