

## Interações: tempo evolutivo

#### Aula de Hoje:

Efeito das interações ecológicas no fitness dos indivíduos e as conseqüências evolutivas destas interações

#### predador-presa





parasita-hospedeiro

mutualismo



#### Co-evolução



Definição: a evolução de duas (ou mais) espécies que interagem ecologicamente, onde cada espécie evolui em resposta a seleção natural imposta pela outra espécie.

## Co-evolução



Definição: a evolução de duas (ou mais) espécies que interagem ecologicamente, onde cada espécie evolui em resposta a seleção natural imposta pela outra espécie.

Seleção Natural Recíproca

## A co-evolução pode ocorrer em diversos tipos de interação

#### predador-presa





#### parasita-hospedeiro

#### mutualismo



### Efeito das interações ecológicas no fitness dos indivíduos e as conseqüências evolutivas destas interações





parasita-hospedeiro

#### mutualismo



### Seleção Natural recíproca

predador-presa



## Possíveis respostas a seleção natural imposta pelas presas



# Adaptações de predadores e parasitas



(B)





Olho infectado por Trematoda Possíveis respostas a seleção natural imposta por predadores



evolução de caracteres morfológicos ou comportamentais para sobreviver a um ataque

evolução de caracteres morfológicos ou comportamentais para evitar um ataque

#### Reposta a predação: evolução da camuflagem



evolução de caracteres morfológicos ou comportamentais para evitar um ataque



Evolução convergente: aquisição independente de características similares em duas ou mais espécies a partir de seleção natural





Bicho pau Timema cristinae





Evolução divergente: evolução, por seleção natural, de diferenças entre espécies aparentadas que vivem em ambientes distintos e portanto estão sujeitas a pressões seletivas distintas.





#### Reposta a predação: evolução de coloração aposemática



Aposematismo: conjunto de características adaptativas (em geral coloração) que sinalizam propriedades nocivas (em geral tóxicas) da presa

## Evolução de resistência a toxinas



Taricha granulosa



Thamnophis sirtalis



#### "Pó de zumbi"



### Evolução de resistência a toxinas



#### Variação geográfica na resistência



Cores indicam níveis de resistência a toxina.

# Co-evolução entre espécies pode ser vista como uma corrida armamentista



#### Mosaico geográfico de co-evolução



Efeito da interação no fitness

👝 Fluxo gênico ilimitado

-----> Fluxo gênico limitado

"Cold Spot": localidades onde uma de duas espécies que comumente interagem não ocorre, ou onde a interação apesar de ocorrer não resulta em seleção recíproca.

"Hot Spot": localidades onde a interação entre duas (ou mais) espécies resulta em seleção recíproca.



John Thompson

#### Mosaico geográfico de co-evolução



- Efeito da interação no fitness
  - \_\_\_\_ Fluxo gênico ilimitado
- ·····→ Fluxo gênico limitado

Previsão: para um dado par de espécies que interagem, não deve haver um "encaixe perfeito" entre os fenótipos das populações em toda sua ocorrência geográfica



John Thompson





Gambusia affinis





Seleção que se deve a diferenças entre indivíduos do mesmo sexo em conseguir parceiros sexuais, relacionada a diferentes fenótipos.

Será que existe preferência das fêmeas em relação ao tamanho do gonopódio ??????

#### Gambusia affinis









## Preferência das fêmeas em relação ao tamanho do gonopódio











## Preferência das fêmeas em relação ao tamanho do gonopódio



Quanto maior o gonopódio mais lento é o comportamento de fuga

А

В





Gambusia affinis





Na presença de predadores os indivíduos de *G. affinis* e *G. hubbsi* possuem um gonopódio menor Quanto maior o gonopódio mais lento é o comportamento de fuga



## Extinção e mudanças de dieta





#### "Abutres e Urubus" do Pleistoceno



Gymnogyps californianus



Teratornis merriami



Coragyps occidentalis



Megafauna: mais pesados do que 40Kg



#### "Abutres e Urubus" do Pleistoceno



Gymnogyps californianus



Teratornis merriami

#### Como determinar a dieta desses organismos?



Coragyps occidentalis



Megafauna: mais pesados do que 40Kg

#### Uso de Isótopos para determinar a dieta



Recursos potenciais

Dieta de comunidades na Patagônia

#### "Abutres e Urubus" do Pleistoceno



Gymnogyps californianus



Teratornis merriami



#### Pleistoceno



Coragyps occidentalis



Megafauna: mais pesados do que 40Kg

*Teratornis merriami* e *Coragyps occidentalis* dieta de Megafauna terrestre.

*Gymnogyps californianus* dieta principalmente de Megafauna terrestre, porém populações próximas a costa também incluiam mamíferos aquáticos (e.g. Cetáceos).
#### "Abutres e Urubus" do Pleistoceno



Gymnogyps californianus



Teratornis merriami





Coragyps occidentalis



Megafauna: mais pesados do que 40Kg Extinção da Megafauna terrestre no final do Pleistoceno. Tanto pequenos mamíferos quanto mamíferos aquáticos não foram tão afetados.

#### "Abutres e Urubus" do Pleistoceno



Gymnogyps californianus



Teratornis merriami



Hoje



Coragyps occidentais



Megafauna: mais pesados do que 40Kg *Teratornis merriami* e *Coragyps occidentalis* dieta de Megafauna terrestre.

*Gymnogyps californianus* dieta principalmente de Megafauna terrestre, porém populações próximas a costa também incluiam mamíferos aquáticos (e.g. Cetáceos).

## Qual seria o efeito da Predação na diversidade de espécies e morfologias no tempo geológico?





# Lago Tanganyika

# Lago Tanganyika

# 676 km

50 km

Lago Tanganyika: evolução de caracteres morfológicos em resposta a predação





Maioria dos gastrópodes lacustres apresentam conchas finas, pouco calcificadas e com poucos ornamentos. Maioria dos carangueijos de agua doce apresentam quelas "fracas" e são detritívoros.

### Lago Tanganyika: evolução de caracteres morfológicos em resposta a predação





Lago Tanganyika apresenta gastrópodes com conchas grossas, altamente calcificadas e com ornamentos. Os carangueijos apresentam quelas "fortes".





Maioria dos gastrópodes lacustres apresentam conchas finas, pouco calcificadas e com poucos ornamentos. Maioria dos carangueijos de agua doce apresentam quelas "fracas" e são detritívoros.



Geerat Vermeij

## Mudanças morfológicas



#### Mudanças morfológicas

Proporção da biota constituída por "esmagadores de conchas" aumentou substancialmente durante o final do mesozóico e o cenozóico

![](_page_44_Figure_2.jpeg)

#### aumento de 2.5 vezes

para grupos com boa preservação aumento de 1.3 vezes

## Mudanças morfológicas

conchas mais finas e com "umbilicus"

conchas mais grossas e com abertura estreita

![](_page_45_Picture_3.jpeg)

![](_page_46_Picture_0.jpeg)

Geerat Vermeij

conchas mais finas e com "umbilicus"

## Mudanças morfológicas

![](_page_46_Figure_4.jpeg)

conchas mais grossas e com abertura estreita

![](_page_47_Picture_1.jpeg)

Durante o Paleozóico Crinóides com "tronco" eram muito comuns em comunidades marinhas de águas rasas.

![](_page_48_Picture_1.jpeg)

![](_page_48_Picture_2.jpeg)

Durante o Mesozóico e Cenozóico Crinóides com "tronco" tornam-se mais comuns em águas profundas onde existe uma menor incidência de seus predadores, os peixes.

![](_page_49_Picture_1.jpeg)

Hoje em dia Crinóides com "tronco" mais comuns em águas profundas e os crinóides de comunidades marinhas de águas rasas não apresentam "tronco", são móveis e podem se esconder de predadores em buracos no substrato.

#### Posição de invertebrados no substrato

![](_page_50_Figure_2.jpeg)

#### "Escalada" evolutiva

![](_page_51_Picture_1.jpeg)

#### Revolução Marinha no Mesozóico (252 Ma – 65 Ma)

![](_page_51_Figure_3.jpeg)

## Efeito das interações ecológicas no fitness dos indivíduos e as conseqüências evolutivas destas interações

#### predador-presa

![](_page_52_Picture_2.jpeg)

![](_page_52_Picture_3.jpeg)

#### parasita-hospedeiro

#### mutualismo

![](_page_52_Picture_6.jpeg)

#### Parasitismo: Herbivoria

![](_page_53_Picture_1.jpeg)

#### Parasitismo: Herbivoria

![](_page_54_Picture_1.jpeg)

![](_page_54_Picture_2.jpeg)

## Defesa contra Herbivoria

#### Anacardiaceae

![](_page_55_Picture_2.jpeg)

Toxicodendron radicans

![](_page_55_Picture_4.jpeg)

urushiol

- 1- Compostos Tóxicos.
- 2- Substâncias repelentes ou que dificultam o consumo.
- 3- Defesas físicas.
- 4- "Guarda-costas".

![](_page_55_Picture_10.jpeg)

![](_page_55_Picture_11.jpeg)

![](_page_55_Picture_12.jpeg)

#### Adaptações dos Parasitas

#### Adaptações para evitar ou detoxificar compostos químicos

![](_page_56_Picture_2.jpeg)

comportamento

![](_page_56_Picture_4.jpeg)

fisiologia

Danaus chrysippus comendo Calotropis sp.

## Defesa contra Herbivoria

#### Anacardiaceae

![](_page_57_Picture_2.jpeg)

Toxicodendron radicans

![](_page_57_Picture_4.jpeg)

urushiol

- 1- Compostos Tóxicos.
- 2- Substâncias repelentes ou que dificultam o consumo.
- 3- Defesas físicas.
- 4- "Guarda-costas".

![](_page_57_Picture_10.jpeg)

![](_page_57_Picture_11.jpeg)

![](_page_57_Picture_12.jpeg)

## Padrão evolutivo: Especialização vs generalização.

Drosófilas do Havaí

![](_page_58_Picture_2.jpeg)

Algumas espécies se alimentam de mais de uma família de planta, enquanto outras somente de espécies de uma única família de planta

#### Especialização vs generalização.

Drosófilas do Havaí

![](_page_59_Picture_2.jpeg)

Algumas espécies se alimentam de mais de uma família de planta, enquanto outras somente de espécies de uma única família de planta

Especialização: diminuição na abrangência de recursos utilizados

#### Especialização vs generalização.

Drosófilas do Havaí

![](_page_60_Picture_2.jpeg)

Algumas espécies se alimentam de mais de uma família de planta, enquanto outras somente de espécies de uma única família de planta

Especialização: diminuição na abrangência de recursos utilizados

Conceito Relativo

Possíveis limitações no uso dos termos especialização e generalização

![](_page_61_Picture_1.jpeg)

A generalização (especialização) pode ser estudada em diferentes níveis hierárquicos:

a- cada indivíduo utiliza somente um único recurso, porém diferentes indivíduos utilizam diferentes recursos.

b- diferentes populações da mesma espécie podem utilizar recursos distintos.

c- todos indivíduos de uma espécie podem utilizar vários recursos.

Possíveis limitações no uso dos termos especialização e generalização

![](_page_62_Picture_1.jpeg)

A generalização (especialização) pode ser estudada em diferentes níveis hierárquicos:

a- cada indivíduo utiliza somente um único recurso, porém diferentes indivíduos utilizam diferentes recursos.

b- diferentes populações da mesma espécie podem utilizar recursos distintos.

c- todos indivíduos de uma espécie podem utilizar vários recursos.

Conceito Relativo e Hierárquico

#### Nicho

Nicho: a combinação de todas os fatores relevantes para que uma espécie ou população persista.

![](_page_63_Figure_2.jpeg)

#### Nicho

Nicho: é o hiper-volume N-dimensional definido por todos os fatores que limitam a ocorrência de uma dada espécie

Dimensão do Nicho: um fator pelo qual o nicho de uma espécie é caracterizada. Exemplo: tamanho da presa.

![](_page_64_Figure_3.jpeg)

#### Especialização vs generalização.

#### Drosófilas do Havaí

![](_page_65_Picture_2.jpeg)

![](_page_65_Figure_3.jpeg)

Especialização: diminuição na abrangência de uma ou mais dimensões do nicho

Conceito Relativo, Hierárquico e Dimensional

Herbivoria de insetos: especialização e generalização.

1- Diversos insetos têm uma dieta especializada

2- O que promoveria a ESPECIALIZAÇÃO na dieta de insetos?

![](_page_66_Picture_3.jpeg)

![](_page_66_Picture_4.jpeg)

## Hipóteses que explicariam a especialização em insetos herbívoros

1- "Trade-off" na habilidade de detoxificar compostos químicos

- 2- Competição por recursos
- 3- Escapar de predadores ("enemy-free-space")
- 4- Seleção sexual

![](_page_67_Picture_5.jpeg)

![](_page_67_Picture_6.jpeg)

## Habilidade de detoxificar compostos químicos

![](_page_68_Picture_1.jpeg)

Toxicodendron radicans

Anacardiaceae

Solanaceae

![](_page_68_Picture_4.jpeg)

Nicotiana obtusifolia

![](_page_68_Picture_6.jpeg)

urushiol

![](_page_68_Picture_8.jpeg)

nicotina

#### Dieta de bambu

![](_page_69_Picture_1.jpeg)

Hapalemur aureus

![](_page_69_Picture_3.jpeg)

Cathariostachys madagascariensis

#### Compostos cianogênicos

#### Trade-off (Demanda conflitante)

Trade-off: situação na qual a aptidão não pode ser maximizada devido a demandas conflitantes que impõem seleção natural em sentidos opostos.

![](_page_70_Figure_2.jpeg)

Nicotiana obtusifolia

nicotina

#### Trade-off (Demanda conflitante)

Implica na existência de um benefício e um custo de uma dada mutação ou fenótipo na aptidão de um organismo quando comparada com uma outra mutação ou fenótipo.

![](_page_71_Figure_2.jpeg)
#### Competição por recursos



#### Escapar de predadores ("enemy-free-space")

A especialização teria evoluído como uma forma de utilizar suas plantas hospedeiras como proteção a inimigos naturais

Compostos químicos da planta hospedeira poderiam ser utilizados como forma de: 1) resistir; ou 2) escapar de inimigos naturais



#### Toxinas contra predadores



Tithorea harmonia



Larva se alimenta da planta *Prestonia acutifolia* (Apocynaceae)

Os compostos químicos presentes nesta planta são altamente tóxicos para pássaros e pequenos mamíferos

Os compostos químicos tóxicos também são transferidos para os adultos





Seleção que se deve a diferenças entre indivíduos do mesmo sexo em conseguir parceiros sexuais, relacionada a diferentes fenótipos.





Em diversos lepidópteros, os perfumes que são utilizados como feromônios de corte são sempre muito similares quimicamente aos compostos químicos encontrados em suas plantas hospedeiras X: parte da composição química do feromônio de machos a, b, c: diferentes compostos químicos seqüestrados durante a alimentação da larva em espécies distintas



X: parte da composição química do feromônio de machos a, b, c: diferentes compostos químicos seqüestrados durante a alimentação da larva em espécies distintas



X: parte da composição química do feromônio de machos a, b, c: diferentes compostos químicos seqüestrados durante a alimentação da larva em espécies distintas



Herbivoria de insetos: especialização e generalização.

1- Diversos insetos têm uma dieta generalizada

2- O que promoveria a GENERALIZAÇÃO na dieta de insetos?





#### Hipóteses que explicariam a generalização em insetos herbívoros

1- Disponibilidade de recursos

2- Vantagens relacionadas a dietas mixtas





#### Disponibilidade de recursos

Mariposa *Eurapackardia calleta* em 3 populações distintas:

- 1- Texas:
- 2- Sudeste do Arizona:
- 3– Sudoeste do Arizona:



#### Disponibilidade de recursos

Mariposa *Eurapackardia calleta* em 3 populações distintas:

- 1- Texas: Leucophyllum frutenscens (Scrophulariaceae)
- 2- Sudeste do Arizona: *Fouguieria splendens* (Fouguieriaceae)
- 3- Sudoeste do Arizona: Sapium biloculares (Euphorbiaceae)



#### Necessidade de diferentes compostos químicos



Estigmene acrea



Viguiera dentata

Senecio longilobus

#### Necessidade de diferentes compostos químicos



Estigmene acrea



Dietas mistas poderiam resultar em um maior crescimento e sobrevivência devido a benefícios fisiológicos

Viguiera dentata

Senecio longilobus

#### Necessidade de diferentes compostos químicos



# Seria a evolução da especialização um padrão dominante?

- 1- Quão freqüente é a transição:
  - especialista para generalista?

٧S

- generalista para especialista?

2- Melhor maneira de responder essas perguntas seria acompanhar a evolução dos recursos no tempo



# Seria a evolução da especialização um padrão dominante?

1- Quão freqüente é a transição:

- especialista para generalista?

٧S

- generalista para especialista?

2- Melhor maneira de responder essas perguntas seria acompanhar a evolução dos recursos no tempo



#### Evolução: generalista para especialista



Mostra a evolução de generalista para especialista

#### Lesmas do gênero Partula



Seria a evolução da especialização um beco evolutivo sem saída?



#### Evolução: especialista para generalista

#### Drosófilas do Havaí



Mostra a evolução de especialista para generalista

) Generalista: se alimenta de mais de uma família de planta Especialista: se alimenta de uma única família de planta



# A evolução da especialização não é um beco evolutivo sem saída



Nimphalini



Mostra a evolução de especialista para generalista



Generalista: se alimenta de mais de uma família de planta



# Efeito das interações ecológicas no fitness dos indivíduos e as conseqüências evolutivas destas interações

#### predador-presa





# mutualismo

parasita-hospedeiro

#### Mutualismo no tempo evolutivo

Os indivíduos das duas espécies se beneficiam

Grau de dependência



#### Mutualismo no tempo evolutivo

Existem evidências de coevolução em interações mutualisticas?

(A) Specific coevolution





polinização





Trait value



Polinário



Aquisição de fragrâncias

Coleta fragrâncias em outros plantas ou fungos



Polinização Depende das abelhas





adaptação para armazenar as fragrâncias



Abelha nos indica com que espécie de orquídea ela interage!!

# Filogenia das orquídeas



Origem independente da polinização por abelhas euglossine.



#### Filogenia das abelhas euglossine

#### Todas espécies coletam fragrâncias. Origem única na aquisição de fragrâncias







Resultados indicam que as orquídeas se adaptaram a uma prefência comportamental já existente por parte das abelhas.

#### Mutualismo entre plantas e outras espécies



#### "Devil's Garden" Jardim do Diabo



Duroia hirsuta

#### Mutualismo entre plantas e outras espécies







#### Myrmelachista schumanni

"Devil's Garden" Jardim do Diabo

# Competição vs Mutualismo

VS



Alelopatia



Mutualismo com formigas

# Experimento: mutualismo entre plantas e formigas





Desenho experimental

#### Mutualismo entre plantas e formigas


# Mutualismo entre plantas e formigas







## Mutualismo entre plantas e formigas





1- dentro do jardim; formigas não excluídas

- 2- dentro do jardim; formigas excluídas
- 3- fora do jardim; formigas não excluídas
- 4- fora do jardim; formigas excluídas

### Resumo

Co-evolução







## Para Saber mais

Received: 17 October 2018 DOI: 10.1111/jeb.13477	Revised: 26 March 2019	Accepted: 4 April 2019	
REVIEW		Source of Evolutionary Biology 25880	WILEY

#### Detecting the macroevolutionary signal of species interactions

Luke J. Harmon <sup>1,2</sup> 💿   Cecilia S. Andreazzi <sup>3</sup> 📔 Florence Débarre <sup>4</sup> 💿 📋 Jonathan Drury <sup>5</sup>
Emma E. Goldberg <sup>6</sup>   Ayana B. Martins <sup>1,7</sup>   Carlos J. Melián <sup>1</sup>   Anita Narwani <sup>8</sup>
Scott L. Nuismer <sup>2</sup>   Matthew W. Pennell <sup>9</sup>   Seth M. Rudman <sup>10</sup>   Ole Seehausen <sup>1,11</sup>
Daniele Silvestro <sup>12</sup> 💿   Marjorie Weber <sup>13</sup>   Blake Matthews <sup>1,14</sup>