

Evolução

7 Espécies e sua origem



O que são espécies?

Nas últimas aulas vimos um pouco sobre como classificar os seres vivos. Nesta aula iremos nos aprofundar no nível mais básico de classificação que existe a “espécie”. Veremos um pouco sobre como classificar uma espécie (parece fácil, mas nem sempre é), e sobre como se dá o processo de surgimento de novas espécies ao longo da história evolutiva das diferentes linhagens.

Todas as pessoas têm uma ideia intuitiva do que seja uma espécie. Afinal, estamos acostumados a organizar as coisas com as quais temos contato no nosso dia a dia. Quando organizamos as nossas roupas, nós as agrupamos em categorias como meias, camisas, ternos, vestidos etc. E fazemos isso também com os alimentos (grãos, carnes, queijos etc.) e objetos (livros, louças, talheres etc.). O mesmo acontece com relação aos seres vivos. A classificação dos seres vivos será vista nos módulos de Botânica e Zoologia. Vamos deter-nos aqui aos níveis mais baixos de organização dos seres vivos: as espécies e suas subdivisões. Mas será que as categorias nas quais organizamos os seres vivos têm mesmo uma existência real? Ou será que essa organização é uma abstração? Alguns pesquisadores argumentam que o que existe na Natureza são os indivíduos; as categorias, entre elas as espécies, não passariam de abstrações que existem somente em nossas cabeças! Será que isso faz sentido? Ou será que grupos de indivíduos têm algo real em comum?

O conceito tipológico de espécie

Antes da aceitação da teoria da evolução pela comunidade científica, já havia o conceito de espécie. As espécies eram consideradas os tipos mais básicos da diversidade biológica. A ideia de espécie era fortemente associada ao ideal platônico. Os indivíduos são considerados, nesse conceito, desvios de um tipo ideal. Os taxonomistas utilizam rotineiramente um procedimento que mostra bem essa ideia. Ao nomear uma espécie biológica que antes não havia sido caracterizada, o especialista escolhe um dos indivíduos como holótipo. Esse indivíduo seria aquele que, segundo o especialista, melhor

representa o padrão da espécie. Esse tipo de procedimento é tradicional e remonta aos tempos de Lineu, o naturalista sueco cuja classificação foi tomada como padrão para a classificação botânica ou zoológica. Lineu trabalhou no século XVII, quando a teoria da evolução ainda não havia sido desenvolvida. Assim, esse conceito não pressupunha a modificação das espécies ao longo do tempo.

O conceito tipológico de espécies apresenta alguns problemas. Quando há dimorfismo sexual, isto é, os machos e as fêmeas de uma espécie são sempre diferentes, de qual sexo deve ser escolhido o holótipo? Há casos em que os machos e as fêmeas de uma mesma espécie são descritos como espécies diferentes!

O macho (verde) e a fêmea (vermelha) da espécie de papagaio australiano *Eclactus roatus* eram classificados antigamente como pertencendo a espécies diferentes.

Há espécies que apresentam variação morfológica marcante. Não é difícil vermos, em jardins, pares de joaninhas diferentes, da mesma espécie, em plena cópula, como aparece na figura 7.2. O caso da joaninha é diferente do caso do papagaio australiano, pois há machos e fêmeas com diferentes tipos de coloração, enquanto nos papagaios mencionados os machos são sempre verdes e as fêmeas, sempre vermelhas.

Há ainda espécies que apresentam variação que é organizada geograficamente. Por exemplo, a espécie *Heliconius erato* apresenta morfologia bem diferente conforme a localidade onde é encontrada (figura 7.3).

O conceito biológico de espécie

Depois que a teoria da evolução foi formulada, passamos a entender as espécies biológicas de uma forma completamente diferente. As espécies passaram a ser compreendidas como entidades passíveis de transformações ao longo do tempo. O que é modificado ao longo do tempo é a composição genética das populações. Nesse caso, para enfatizar a questão da composição genética, foi desenvolvido o conceito biológico de espécie, segundo o qual as espécies são grupos de indivíduos que compartilham um mesmo patrimônio genético. O conceito biológico de espécie pode ser assim definido: Espécies são grupos



Fig. 7.1 Macho (verde) e fêmea (vermelha) da espécie de papagaio australiano *Eclactus roatus*



Fig. 7.2 Joaninhas

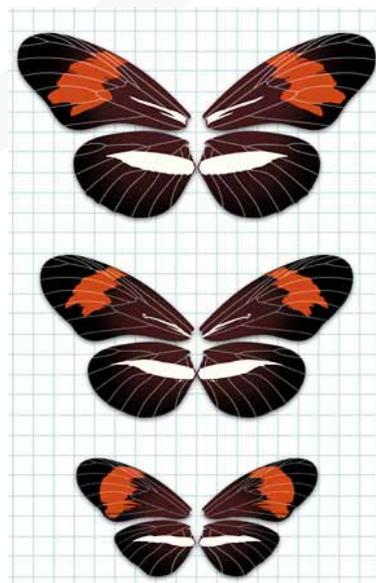


Fig. 7.3 Diferentes morfologias da espécie *Heliconius erato*

de indivíduos que se reproduzem entre si e que estão isolados reprodutivamente de outros grupos semelhantes.

Assim, para a aplicação do conceito biológico de espécie, é fundamental que fique claro o que seja o isolamento reprodutivo. Trata-se de uma propriedade biológica que impede que indivíduos de uma espécie se reproduzam com indivíduos de outras espécies.

Os mecanismos de isolamento reprodutivo

Indivíduos de espécies diferentes podem não se reproduzir por diferentes motivos. Esses motivos são classificados em mecanismos de isolamento reprodutivo (MIRs) pré-zigóticos e pós-zigóticos. Nos MIRs pré-zigóticos, não existe a possibilidade de formação de um zigoto, ao passo que, nos MIRs pós-zigóticos, o óvulo da fêmea de uma espécie é fecundado por um macho de outra espécie, mas alguma coisa dá errado daí para a frente. Existe um bom motivo para essa classificação. Um indivíduo que participa de uma tentativa de acasalamento, que chega a uma fertilização que não resulta em descendentes, é muito mais prejudicado que aquele que não investe tempo, matéria e energia na reprodução infrutífera.

Vejamos agora alguns MIRs pré-zigóticos:

- **Isolamento por habitat:** Os indivíduos de espécies diferentes sequer se encontram, pois vivem em habitats diferentes. Por exemplo, um inseto que vive nas copas de árvores dificilmente se encontrará com um inseto de outra espécie que habita a região das raízes de árvores, embora possam viver na mesma região.
- **Isolamento temporal ou sazonal:** Os indivíduos de espécies diferentes têm diferenças nos períodos de sua atividade sexual. Por exemplo, plantas que florescem em épocas distintas do ano ou até espécies que apresentam atividade sexual restrita a certas horas do dia.
- **Isolamento etológico ou comportamental:** Muitas vezes, o comportamento sexual implica atividades específicas por parte do indivíduo de um dos sexos para que o outro aceite se acasalar. Isso é notório nos pássaros.
- Se um indivíduo de uma espécie se comporta de maneira diferente daquela que é esperada pelo indivíduo do sexo oposto, simplesmente não há o acasalamento.
- **Isolamento mecânico:** Se há incompatibilidade entre as morfologias das genitálias de machos e fêmeas, o acasalamento pode ser tentado, mas não há transferência de esperma e, portanto, não há a fecundação. Este tipo de isolamento reprodutivo pré-zigótico é encontrado especialmente em insetos, onde a genitália do macho é formada por uma estrutura quitinosa relativamente rígida, que se encaixa com a genitália da fêmea como um mecanismo de chave-fechadura.
- **Isolamento gamético:** Neste caso, há a cópula e a transferência de esperma, mas ele acaba tornando-se inviável devido a algum tipo de incompatibilidade bioquímica entre o esperma e o ambiente do ducto genital da fêmea.

Nos casos acima de isolamento reprodutivo não há formação de zigoto. Nos seguintes casos de isolamento reprodutivo pós-zigótico, chega a haver formação de zigotos:

- **Viabilidade reduzida do híbrido ou inviabilidade do híbrido:** Em algum ponto do desenvolvimento do zigoto formado por um acasalamento entre o macho de uma espécie e uma fêmea de outra espécie, ele não é completado, não resultando em um indivíduo maduro.



Acesse o [vídeo](#) com duas danças de acasalamento de pássaros realmente impressionantes.



Fig. 7.4 Mecanismos de isolamento reprodutivo

eficientes no sentido de se evitarem desperdícios de tempo, recursos materiais e energia em uma prole que será fadada ao fracasso.

O conceito biológico de espécies também apresenta problemas. Esse conceito aplica-se somente às espécies com reprodução sexuada. Como o conceito é centrado no isolamento reprodutivo, ele não faz sentido em espécies de reprodução exclusivamente assexuada.

O conceito evolutivo de espécie

Segundo este conceito, espécies são linhagens (uma sequência de populações ancestrais e descendentes) que evoluem separadamente de outras linhagens com seus próprios papéis e tendências evolutivas. Esse conceito também é adequado ao pensamento evolutivo e é mais geral que o conceito biológico de espécie, podendo ser aplicado às espécies de reprodução exclusivamente assexuada. Entretanto, embutidas nesse conceito, existem condições que são muito difíceis de serem aplicadas na prática. Não é simples definir o que sejam papéis ou tendências evolutivas se não tivermos uma noção prévia sobre o que ocorreu durante a evolução das espécies consideradas. Esse conceito, no entanto, é bastante adequado às espécies que possuem um bom registro paleontológico e, por esse motivo, é mais utilizado por paleontologistas, tendo sido proposto por um deles, George Gaylord Simpson, em 1961.

Outros conceitos de espécie

Existem, na literatura científica, mais de 30 conceitos diferentes de espécie, e eles se aplicam melhor conforme o tipo de informação que é disponível sobre os organismos considerados. Essa discussão reflete muito bem o efeito da evolução nos organismos. Existem espécies muito bem estabelecidas, que são consideradas como espécies diferentes

- **Fertilidade reduzida ou infertilidade dos híbridos:** Neste caso, o indivíduo resultante do cruzamento de um macho com uma fêmea, de espécies diferentes, torna-se um adulto saudável, mas estéril ou com fertilidade diminuída. Um caso emblemático é o resultado do cruzamento entre duas espécies de equinos, o cavalo (*Equus caballus*) com o jumento (*Equus asinus*, também conhecido como jegue ou asno). Quando uma égua é cruzada com um jumento, gera um burro (se macho) ou mula (se fêmea). O cruzamento recíproco, de um cavalo com uma jumenta, também produz descendentes (bardoto ou bardota), mas que, ao contrário do burro e da mula, são menos vigorosos que os pais. Todos esses descendentes são estéreis.

- **Degeneração de F₂:** Existe a produção do híbrido; ele é viável e fértil, mas sua descendência apresenta problemas de viabilidade ou de fertilidade.

Na figura 7.4 são mostrados os MIRs acima, salientando que os mecanismos pré-zigóticos são mais

por qualquer dos critérios utilizados para defini-las. Entretanto, há espécies problemáticas na sua caracterização. Isso é perfeitamente compreensível, pois, durante a formação das espécies que estão se divergindo de uma espécie ancestral, é muito difícil estabelecer um momento preciso em que seja possível dizer que uma espécie originou duas ou mais espécies. É justamente por isso que existem ainda categorias abaixo do nível de espécies - seria algo como um estado precoce do processo de especiação.

Raças, variedades, subespécies e semiespécies

Muitas vezes, as populações de organismos que sabemos pertencer a uma espécie diferem entre si, sobretudo quando analisamos diversas regiões geográficas. Tais populações apresentam características diferentes conforme a sua localidade geográfica. A essas populações diferenciadas geograficamente podem ser atribuídos nomes referentes a variedades (mais usado para vegetais) ou raças (usado preferencialmente em animais). Veja a figura 7.5, onde estão representadas as localidades onde habitam raças da espécie de borboletas *Heliconius cydno* e de outras espécies proximamente relacionadas. Os nomes que começam com H. são de outras espécies de *Heliconius*, enquanto aqueles só em letras minúsculas se referem a raças de *H. cydno*.

Em outras situações, onde as diferenças entre as populações de diferentes localidades são marcantes mas há indícios de que pertençam à mesma espécie, por exemplo, através da observação de cruzamentos com resultados viáveis e férteis, tais grupos podem ser chamados subespécies.

O nome “semiespécie” tem uma aplicação bem precisa: Se um dos tipos de cruzamento (por exemplo, fêmeas do grupo A com machos do grupo B) resulta em indivíduos viáveis e férteis, mas o mesmo não ocorre no cruzamento recíproco (machos do grupo A com fêmeas do grupo B), os grupos A e B podem ser chamados semiespécies. Note que não se trata, nesse caso, de um nível taxonômico distinto, mas somente de uma denominação relativa. Não faz nenhum sentido dizer “A é uma semiespécie”, mas sim “A e B são semiespécies”.

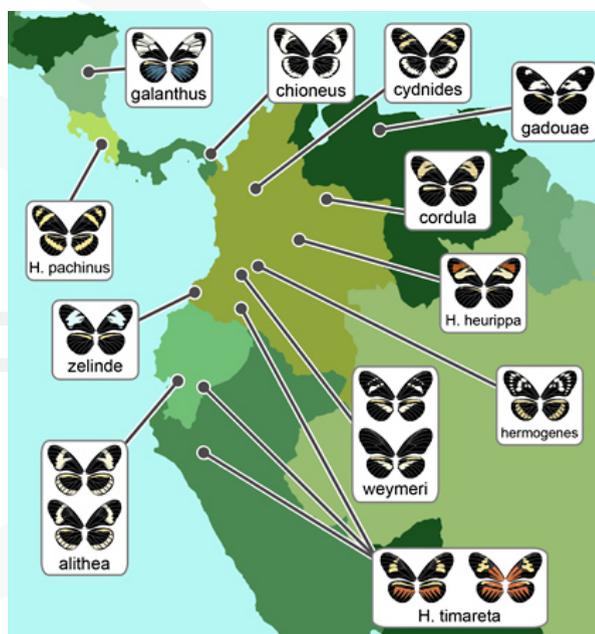


Fig. 7.5 Localidades onde habitam raças da espécie de borboletas *Heliconius cydno* e de outras espécies proximamente relacionadas

A especiação

Como provavelmente você já percebeu, as raças, subespécies e semiespécies podem ser consideradas, grosso modo, etapas no processo de formação de espécies diferentes a

partir de espécies previamente existentes. Isso implica um processo gradual, onde populações que estão distribuídas em localidades geográficas distintas acumulam diferenças a ponto de passarem a ter destinos evolutivos diferentes. De fato, as principais teorias a respeito de especiação referem-se sempre a esse tipo de especiação, chamado alopátrico (do grego “allos” = diferente; “patrida” = pátria). Assim, os diferentes tipos de especiação referem-se à localização geográfica da espécie-mãe e das espécies-filhas.

Especiação alopátrica

Este é o tipo de especiação mais estudado e considerado como o principal meio de formação de novas espécies. Esse processo de formação de novas espécies parte de uma única espécie que, por dispersão ou por vicariância, passa a ocupar distribuições geográficas distintas. Na vicariância, as populações da espécie ancestral são separadas por uma barreira geográfica (como um rio, uma cordilheira ou uma separação de continentes), que aparece depois que as populações já estão distribuídas ao longo da área. Na dispersão, populações de uma espécie passam a ocupar uma área antes não ocupada. Depois que as populações estão separadas é que ocorre a diferenciação que dá origem a raças ou variedades, subespécies, e, se as populações resultantes se tornam isoladas reprodutivamente, há a origem de novas espécies. O esquema abaixo procura mostrar a diferença entre especiação alopátrica por vicariância e por dispersão.

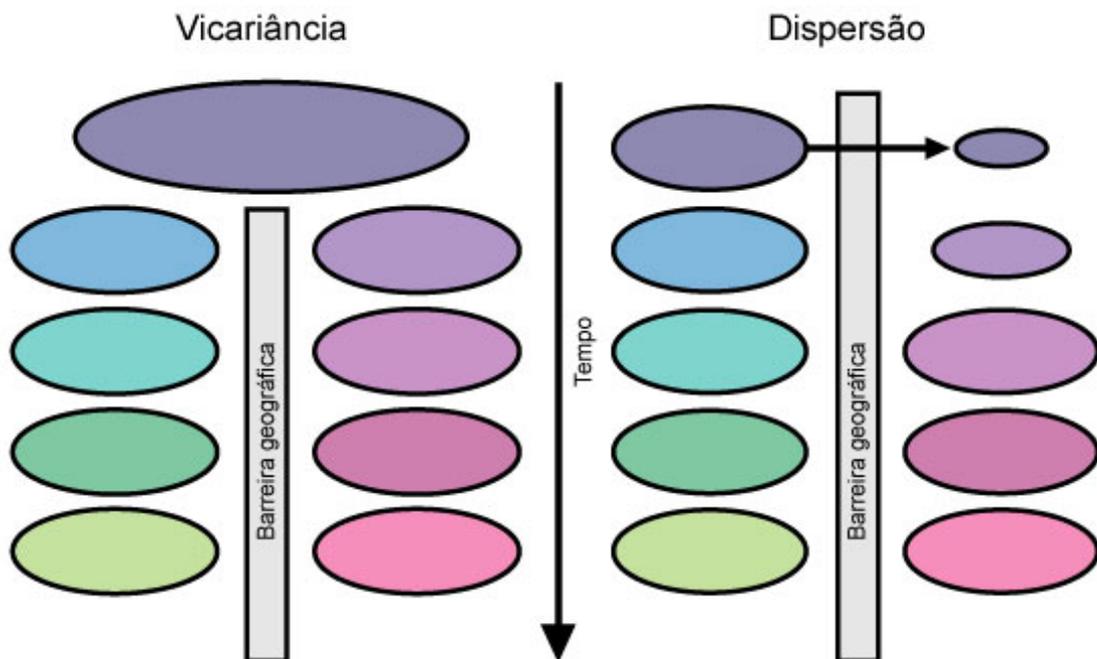


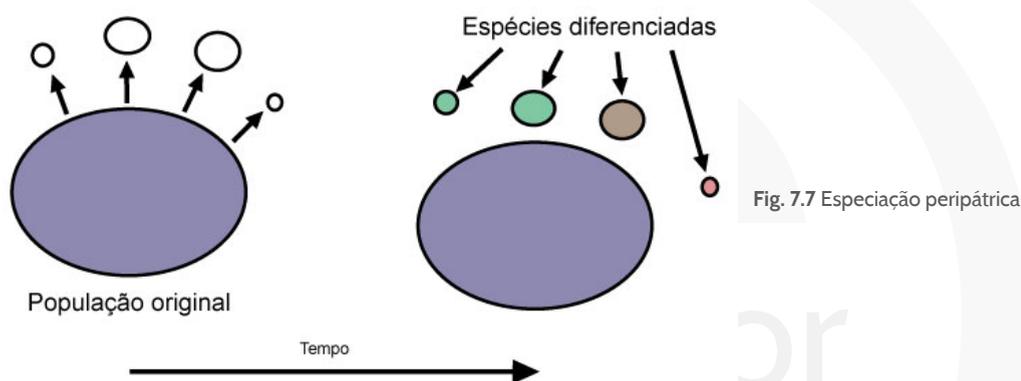
Fig. 7.6 Especialização alopátrica

É muito comum os alunos confundirem isolamento reprodutivo com isolamento geográfico. O isolamento reprodutivo é um atributo biológico, ao passo que o isolamento geográfico diz respeito somente à localização das populações e ao potencial de trocar migrantes entre elas. Um professor costuma dizer, para enfatizar que isolamento geográfico não é isolamento

reprodutivo, que ele próprio não está isolado reprodutivamente da Angelina Jolie, o que impede que eles se reproduzam é apenas a distância geográfica...

Especiação peripátrica

No modo de especiação alopátrica padrão, as populações separadas geograficamente não diferem muito da espécie ancestral. O modo de especiação peripátrica é um caso especial do modo alopátrico, sendo que a diferença é o fato de que há uma população grande que fornece migrantes em pequena quantidade para outras áreas geográficas na periferia da distribuição. Isso ocorre, por exemplo, quando uma população de um continente fornece migrante para ilhas. Se os indivíduos que fundam uma população não são uma amostra representativa da população original, há, nesse caso, uma diferenciação genética relativamente rápida, quando comparado ao modo de especiação alopátrico padrão.



Especiação simpátrica

O modo de especiação simpátrica é aquele em que as espécies se originam de uma espécie ancestral sem que haja algum tipo de separação geográfica entre elas. Este é o modo em que há menos exemplos demonstrados. Para haver diferenciação genética, é necessário que não haja troca de indivíduos entre as subpopulações que estão se diferenciando. Há casos sugestivos deste tipo de especiação em espécies de insetos parasitas de frutos, que resultam na especialização em hospedeiros que possuem características especiais, como tempos de frutificação diferentes. Há também exemplos de peixes que se diferenciam em um mesmo lago, onde as espécies se teriam divergido por especialização em alimentos que estão em microrregiões diferentes do lago, como alimentos bentônicos e planctônicos.

Há outros modos de especiação, como a que resulta da formação de organismos poliploides, ou aquela que se dá em ecótonos, ou seja, regiões com gradientes ecológicos pronunciados. Existem ainda muitos experimentos que demonstram o modo como populações podem se diferenciar geneticamente chegando a apresentar atributos próprios de espécies diferentes. Esse é um tópico em que as generalizações são difíceis, mas a própria análise das populações naturais nos leva a crer que a formação de espécies novas é um processo que, embora gradual e possa levar muito tempo, está ocorrendo diante de nós durante todo o tempo, tal como deve ter ocorrido durante todo o tempo no passado.



Atividades

Questionário

1. Leia a seguinte matéria da Folha sobre uma “nova espécie” de leopardo: [DNA revela nova espécie de leopardo em Bornéu e Sumatra](#). Segundo a matéria, pesquisadores analisaram indivíduos da espécie leopardo nebuloso (*Neofelis nebulosa*), e encontraram, em populações insulares das ilhas de Bornéu e Sumatra, diferenças suficientes para separar essas populações insulares em uma espécie distinta (*Neofelis diardi*).

Responda:

- a) Segundo a matéria, que características foram importantes para os pesquisadores separarem as duas espécies?
 - b) Imagine que cientistas fossem capazes de em fazer com que indivíduos da espécie *N. nebulosa* e da espécie *N. diardi* cruzassem e produzissem descendentes férteis, mas somente em cativeiro. Se fosse esse o caso, você apoiaria a idéia de dividir as populações continentais e insulares de *Neofelis* em espécies distintas? Ou, ao contrário, defenderia a idéia de que se tratam apenas de sub-espécies distintas? Justifique.
2. Estudo de caso. Leia ambos os textos abaixo e responda as questões:

Texto 1

O caramujo marinho, *Littorina saxatilis* habita costas marítimas no norte da Europa. Trata-se de um molusco pequeno (de até 12mm), que se alimenta do musgo que cresce em costas rochosas. É uma espécie dióica e, geralmente, o macho procura ativamente uma parceira e, ao encontrá-la, posiciona-se em cima da concha dela e realiza a cópula.

Pesquisadores foram capazes de identificar, na costa da Suécia, 2 ecótipos distintos dessa mesma espécie (um ecótipo pode ser definido como uma morfologia que está associada a um hábitat determinado). O ecótipo “E” é pequeno (de 4mm à 7mm), frágil e vive em fendas e fissuras de superfícies expostas de rochedo. Enquanto que o ecótipo “S” é composto por indivíduos grandes e robustos (6mm à 12mm), vivem em ambientes pedregosos, protegidos das ondas e onde habitam também muitos caranguejos. Ambos os ecótipos podem ser observados em zonas de transição entre ambientes expostos de rochedo e ambientes pedregosos protegidos. Sabe-se que existe fluxo gênico entre ecótipos distintos nas zonas de transição, mas que esse fluxo gênico é reduzido.

- a) Que mecanismos você acha que podem influenciar nessa redução do fluxo gênico entre ecótipos distintos?

Texto 2

De fato, estudos recentes têm descrito comportamentos em *L. saxatilis* que podem explicar tal redução no fluxo gênico. Um artigo recente de Johannesson e colaboradores (2008) verificou que uma das estratégias para os machos encontrarem parceiras em potencial é seguir as trilhas de muco deixadas por elas ao se locomoverem. E mais, os pesquisadores também descobriram que machos seguem preferencialmente a trilha de muco de uma fêmea que seja do mesmo ecótipo!

(Fonte: Johannesson, K.; Havenhand, J. N.; Jonsson, P. R.; Lindegarth, M.; Sundin, A.; Hollander, J. Male discrimination of female mucous trail permits assortative mating in a marine snail species. *Evolution* v. 62 n. 12 pp 3178-3184. 2008.)

- b) Tal comportamento implica qual tipo de isolamento reprodutivo? Por quê?
- c) Se tal comportamento se acumular com outras barreiras ao fluxo gênico entre os diferentes ecótipos, e este se reduzir drasticamente, que fenômeno poderá ocorrer dentro de um grande número de gerações?

3. Estudo de caso:

Em 1971, cinco casais de lagartos da espécie *Podarcis sicula* foram transportados da pequena ilha de Pod Kopiste para a ilha vizinha de Pod Mcaru. Ambas as ilhas possuem menos de 1km² e ficam próximas à costa da Croácia. *P.sicula* é uma espécie de lagarto que se alimenta primeiramente de insetos, e – até 1971 – ocorriam apenas em Pod Kopiste, mas não em Pod Mcaru.

Em 2008, 37 anos depois da introdução dos lagartos, pesquisadores belgas retornaram a Pod Mcaru e encontraram uma população de lagartos ali estabelecida. A análise de DNA confirmou que se tratavam dos *P.sicula* (muito provavelmente, ancestrais dos cinco casais que primeiramente foram introduzidos na ilha). Os pesquisadores então realizaram observações e medidas tanto na população de lagartos introduzida em Pod Mcaru quanto na população ancestral em Pod Kopiste. Os pesquisadores encontraram diferenças significativas.

Medições confirmaram que indivíduos da população de Pod Mcaru possuem o tamanho da cabeça marcadamente maior que a população original de Pod Kopiste (cabeças mais longas, mais largas e mais altas). Essas alterações morfológicas geralmente traduzem-se em uma 'mordida' mais poderosa, o que por sua vez se relaciona com uma dieta vegetariana. E, de fato, a população de lagartos de Pod Mcaru possuía agora uma dieta onívora significativamente rica em plantas, ao contrário da população ancestral de Pod Kopiste, que mantinha uma dieta exclusiva de insetos.

Pesquisadores encontraram também diferenças significativas no trato digestivo dos lagartos de Pod Mcaru. Com a presença de válvulas musculares nos cécos digestivos (ausentes na população de Pod Kopiste), além de mudanças no comportamento de defesa de território: Enquanto os lagartos de Pod Kopiste possuíam o hábito de defender seus territórios, isso não ocorria com os lagartos em Pod Mcaru.

(Fontes: Herrel, A.; Huyghe, K.; Vanhooydonck B.; Bacheljau, T.; Breugelmans, K.; Grbac, I.; Van Damme, R.; Irschick, D. J. Rapid large-scale evolutionary divergence in morphology and performance associated with exploitation of a different dietary resource PNAS. v. 105 n. 12. pp. 4792–4795. 2008. e Dawkins, R. The greatest show on Earth, the evidence for evolution. Bantam Press pp. 54–57. 2009.)

- Com todas as diferenças relatadas, você acredita que seria sensato dividir as populações de *P.sicula* em Pod Mcaru e em Pod Kopiste em espécies distintas? **Justifique.**
- Compare o que aconteceu com os lagartos *P.sicula* nas duas ilhotas nos últimos 37 anos com o relato dos caramujos *Littorina*. Quais são as semelhanças e as diferenças? Quais seriam as semelhanças e diferenças se, para ambas as espécies, esse processo resultasse em isolamento reprodutivo para as populações (ou, ecótipos, no caso da *Littorina*) distintas.

