

# **BIOLOGIA DA CONSERVAÇÃO**



## **PROTOCOLOS AULAS TEÓRICO-PRÁTICAS**

(adaptados de SHULTZ *et al.* 1999 e GIBB *et al.*, 2008)

**António Mira  
João E. Rabaça**

**2022**

# BIOLOGIA DA CONSERVAÇÃO

## AULAS PRÁTICAS

**1.ª UNIDADE PEDAGÓGICA:** Conceito de Biodiversidade (adaptado de SHULTZ *et al.* 1999)

---

### 1. INTRODUÇÃO

O conceito de diversidade biológica ou biodiversidade refere-se à multiplicidade dos seres vivos e aos sistemas biológicos que eles constituem. Nos últimos anos, os assuntos relacionados com a diversidade biológica têm atraído a atenção dos investigadores em biologia da conservação, decisores políticos e público indiferenciado.

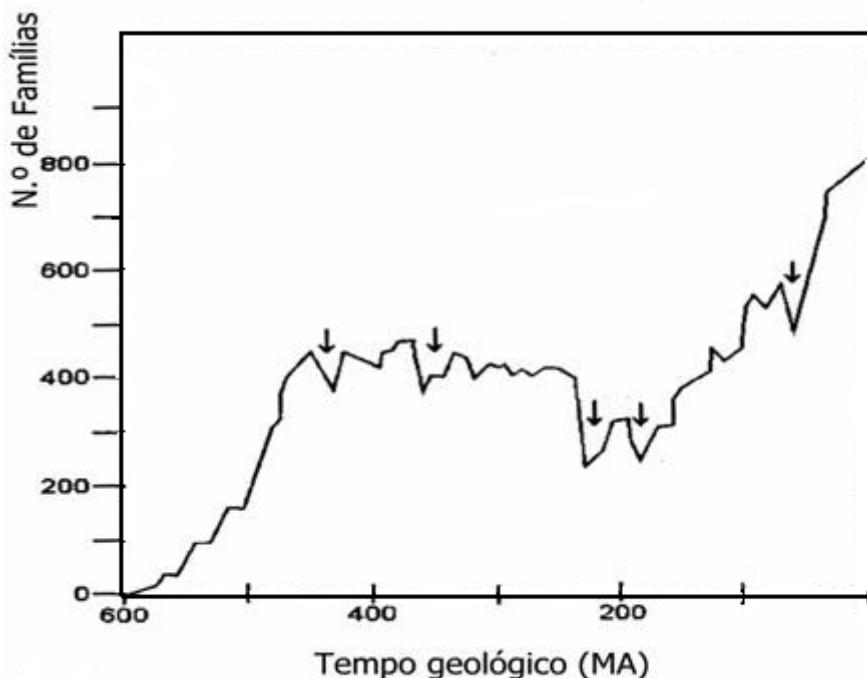
Numa aproximação simples, podemos dizer que a biodiversidade aumenta quando, por especiação, surgem novas espécies e diminui quando ocorre a extinção de espécies. Com efeito, cada espécie existente na actualidade à face da Terra desempenha um papel importante nos sistemas em que se integra, pelo que a extinção, por exemplo, de uma única espécie vegetal pode vir a provocar a extinção de muitos animais que dela dependem.

A Humanidade beneficia directamente da diversidade de espécies. Mesmo espécies com as quais não temos qualquer contacto directo podem afectar indirectamente as nossas vidas, devido à intrincada teia de interacções existentes entre todas as espécies existentes no planeta. Desde os primórdios da civilização que o homem tem dependido dos recursos naturais para a manutenção dos seus sistemas de vida e saúde. Mesmo espécies que não foram ainda descobertas pelos cientistas podem, um dia, vir a revelar-se como importantes recursos. Como exemplo, podemos referir o caso de uma espécie vegetal (*Catharanthus roseus*) recentemente descoberta das florestas de Madagáscar e da qual é possível extrair substâncias anti-cancerígenas utilizáveis no tratamento da leucemia infantil e na doença de Hodgkin.

A actividade humana tem provocado uma perda de biodiversidade a diversos níveis e alguns biólogos crêem mesmo que o planeta pode estar no limiar de um processo de extinção em massa. Acções como a destruição de habitats, sobre-exploração de recursos e introdução de espécies exóticas têm provocado o desaparecimento de milhares de espécies em todo o mundo.

Existem mais espécies nos tempos actuais do que alguma outra vez ao longo da história da Terra. Os cientistas estimam que o número total de espécies existentes à face da Terra nos tempos actuais esteja compreendido entre  $3-20 \times 10^6$ . Até ao momento, somente  $1,75 \times 10^6$  daquele total foram identificadas e muitas extinguír-se-ão antes mesmo de virem a ser identificadas e descritas. Aliás, o número de espécies que desaparecem por extinção é mais elevado do que alguma vez terá sido no passado. Alguns cálculos estimam que, no presente, a taxa anual de extinção pode ser de 20 mil espécies/ano (ou 54,8 espécies/dia!), o que significa que em 2050 cerca de um terço de todas as espécies actualmente existentes poderá ter-se extinto.

Desde o início da vida na Terra há cerca de 3200 MA que a biodiversidade tem vindo a aumentar. Todavia, os registos fósseis permitem verificar a existência de 5 eventos de extinções em massa (Fig. 1.1). Ora se as extinções são processos naturais e se considerarmos que no passado a biodiversidade sempre recuperou, porque razão nos devemos preocupar com as extinções actuais?



**Figura 1.1** – Variação do número de Famílias de animais marinhos ao longo do tempo e os 5 eventos de extinções em massa da história da Terra (as setas indicam respectivamente da esquerda para a direita as extinções do Ordovícico, Devónico, Pérmico, Triássico e Cretáceo).

Sucede que a perda de biodiversidade resultante das actividades de uma única espécie – a espécie humana – não tem precedentes e pode ser irreversível. No

passado, os processos evolutivos que originaram novas espécies compensaram os processos de perda, mas a taxa de extinção actual excede grandemente a taxa de especiação e se as actividades humanas se mantiverem ao mesmo ritmo será pouco provável que esta tendência seja invertida.

Se a perda de biodiversidade se mantiver à presente taxa, será afectado não só o funcionamento dos ecossistemas mas também a própria humanidade.

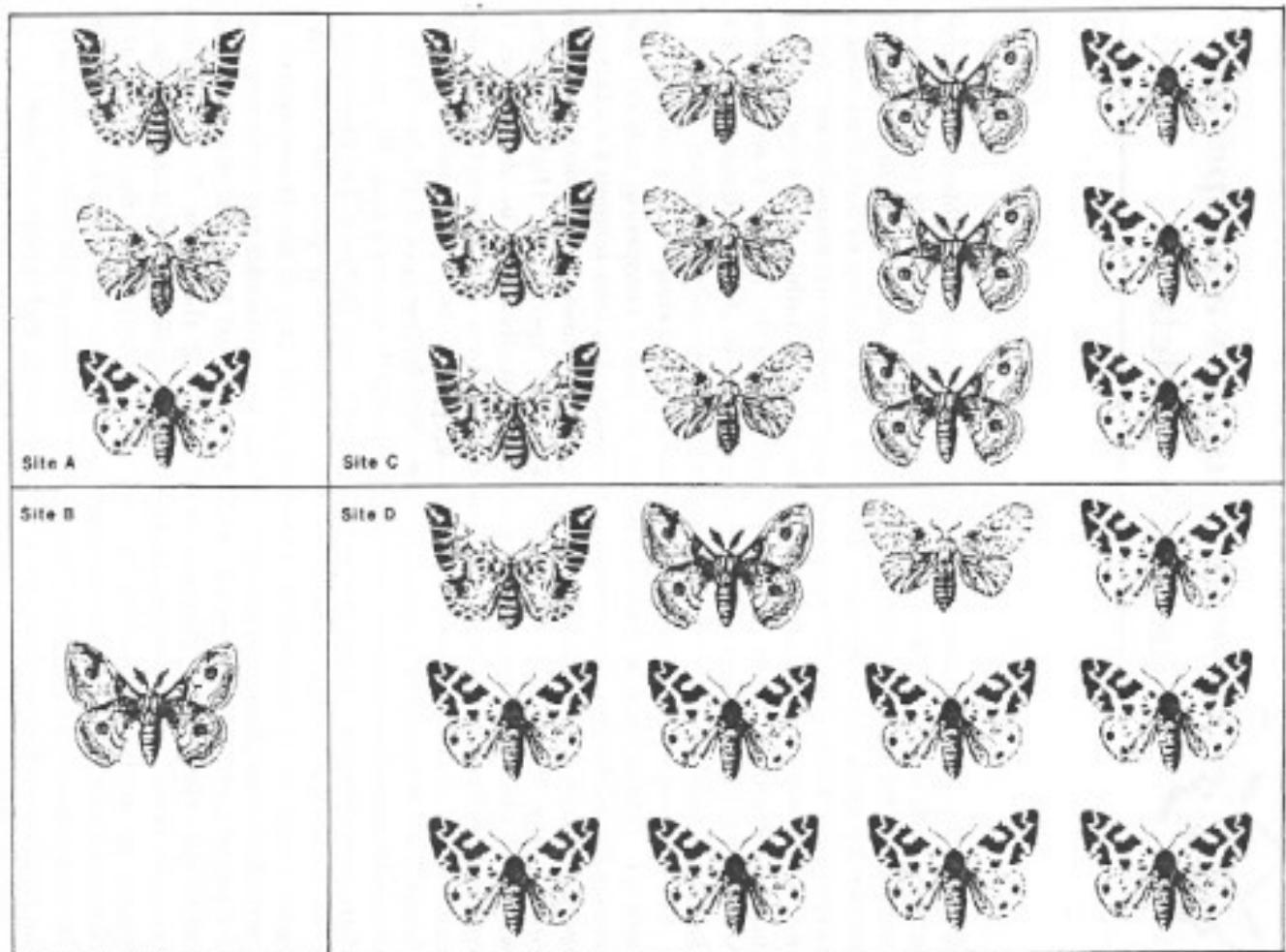
## **2. O QUE É A BIODIVERSIDADE?**

O termo biodiversidade significa literalmente “variabilidade da vida”. Na sua forma mais abrangente, a biodiversidade pode ser definida como “a variedade total da vida na Terra, incluindo todos os genes, espécies e ecossistemas e os processos ecológicos nos quais eles intervêm”. Porém, dependendo do contexto em que se emprega pode assumir diversos significados. A biodiversidade pode reportar-se ao número de tipos de comunidades existentes numa determinada região geográfica, usando-se neste caso o termo “diversidade de comunidades e ecossistemas”. Pode também reportar-se à quantidade de variação genética numa espécie, designando-se por “diversidade genética”, ou ainda dizer respeito ao número de espécies numa dada área, i.e. a “diversidade específica”. Na maior parte das situações, quando nos referimos à biodiversidade reportamo-nos justamente à diversidade específica, ou seja à variedade de espécies numa área.

A biodiversidade específica inclui 2 componentes distintas: a riqueza e a equitabilidade. A primeira corresponde ao número total de espécies existente numa região; a segunda reporta-se ao grau de similitude entre as abundâncias de cada uma das espécies que constituem a comunidade. Como exemplo imagine duas comunidades, cada uma delas com um total de 100 indivíduos pertencentes a 2 espécies (A e B). Numa das comunidades existem 50 indivíduos da espécie A e 50 indivíduos da espécie B; na outra, encontramos 2 indivíduos da espécie A e 98 da espécie B. Se considerarmos apenas a riqueza como a medida da biodiversidade, ambas as comunidades são igualmente diversas dado que ambas têm 2 espécies. Todavia, se incluirmos na noção de biodiversidade a riqueza e a equitabilidade, as comunidades terão valores de biodiversidade diferentes, sendo que a segunda será considerada como menos diversa dado que as espécies raras baixam a estimativa de

biodiversidade de uma comunidade quando se entra em linha de conta com a equitabilidade.

Os conceitos de riqueza e abundância encontram-se ilustrados de um modo bastante simples na Fig. 1.2. Se compararmos os locais **A** e **B** (site A, site B), **A** será considerado como tendo uma maior diversidade dado que contém três espécies de borboletas (riqueza superior) enquanto que **B** só tem uma espécie. Ao invés, não existe diferenças ao nível da riqueza específica entre os locais **C** e **D**: em **C** existem quatro espécies de borboletas cada uma representada por três indivíduos e em **D** encontramos quatro espécies e também um total de doze indivíduos. Todavia, em **D** existe uma espécie particularmente abundante com nove indivíduos sendo as restantes raras e representadas apenas por um indivíduo cada. Logo, embora **C** e **D** apresentem um igual número de espécies e de indivíduos, a maior equitabilidade de **C** confere-lhe uma maior diversidade.



**Figura 1.2** – Exemplo teórico para ilustrar os conceitos de riqueza e equitabilidade (extraído de MAGURRAN, 1988).

Os ecologistas utilizam habitualmente expressões matemáticas para expressar ideias sob uma forma numérica que são os índices. No que respeita aos índices de diversidade, existem basicamente três categorias (*e.g.* MAGURRAN 1999): índices de riqueza específica, modelos de distribuição de abundâncias e índices baseados na proporção de indivíduos das diferentes espécies. É precisamente nesta última categoria que os índices existentes tentam cristalizar a riqueza e a equitabilidade num só valor.

Um dos índices de biodiversidade mais utilizados e que inclui tanto a riqueza como a equitabilidade é o **índice de Simpson (D)** (SIMPSON, 1949). De acordo com este índice, a probabilidade de quaisquer dois indivíduos retirados de uma comunidade infinitamente grande pertencerem a espécies diferentes é dada por:

$$D = \sum (n_i/N)^2$$

em que  $n_i$  é a abundância da espécie  $i$  e  $N$  o número total de indivíduos da comunidade ( $p_i$ ). À medida que  $D$  aumenta diminui a diversidade, pelo que o **índice de Simpson** é frequentemente usado na sua forma recíproca  $1/D$  permitindo que a um aumento da diversidade corresponda um aumento do valor do índice.

$$1/D = \frac{1}{(n_1/N)^2 + (n_2/N)^2 + \dots + (n_i/N)^2},$$

Um outro índice de diversidade com ampla utilização em ecologia é o **índice de Shannon (H')** (SHANNON & WEAVER, 1949), derivado da teoria da comunicação e que fornece uma medida do grau de incerteza:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

em que  $p_i$  é a proporção de indivíduos da espécie  $i$  ( $n_i/N$ ). Tratando-se de uma medida de heterogeneidade, o índice  $H'$  entra em linha de conta com a equitabilidade das abundâncias das espécies e permite o cálculo de uma medida adicional de equitabilidade. A diversidade máxima ( $H'_{\max}$ ), que pode eventualmente ser encontrada numa situação em que todas as espécies apresentam a mesma abundância, é dada por:

$$H'_{\max} = \ln S$$

em que **S** é o valor da riqueza. A proporção entre a diversidade observada e a diversidade máxima, pode ser tomada como uma medida de equitabilidade (PIELOU, 1975):

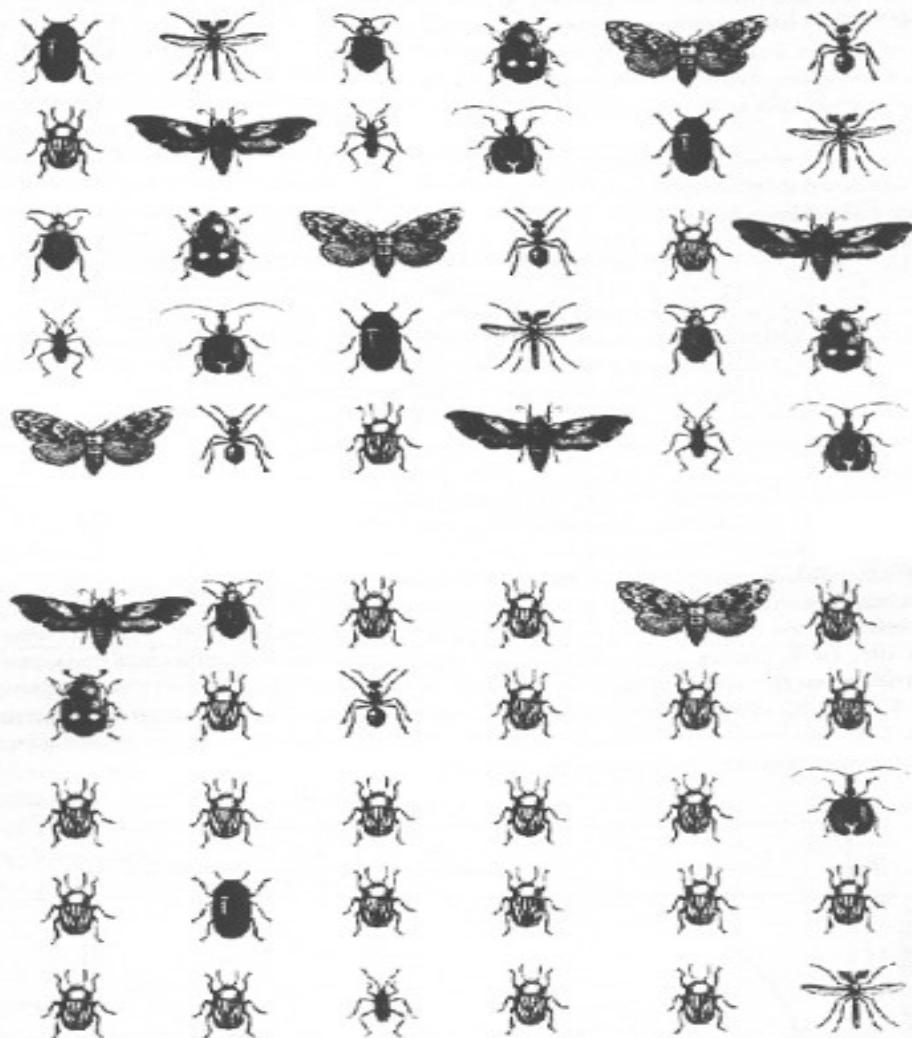
$$E = H'/H'_{\max}$$

O índice **E** varia entre 0 e 1, representando a unidade a situação em que todas as espécies se apresentam igualmente abundantes.

Tem existido alguma controvérsia acerca do uso de índices de biodiversidade como o índice de Simpson e o índice de Shannon. Basicamente, porque o conceito de biodiversidade é bastante complexo e não será de esperar que se possa captar toda a informação sobre uma comunidade através de um simples índice. Muitos aspectos biológicos importantes não são contemplados através de um único índice, como por exemplo (1) que espécies compõem a comunidade e (2) qual (ou quais) é (são) a(s) mais abundante(s). Não obstante, os índices de diversidade podem ser descritivos e muito úteis desde que não se tenha a pretensão de que eles sejam capazes de exprimir todos os importantes aspectos que a biodiversidade de espécies representa (e.g. MAGURRAN, 1988).

#### **QUESTÕES PRÉVIAS PARA DISCUSSÃO:**

1. Descreva uma situação em que seja adequado para um biólogo usar apenas a riqueza de espécies como uma medida da biodiversidade.
2. Observe a Fig. 1.3 (topo: **comunidade 1**; base: **comunidade 2**). Qual a comunidade que apresenta maior riqueza específica?



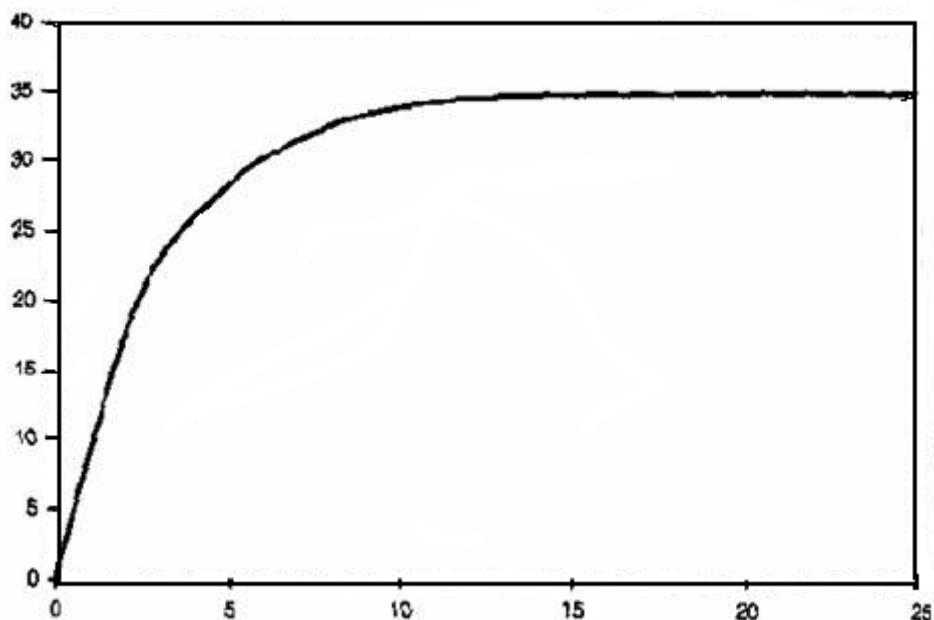
**Figura 1.3** – Exemplo de 2 comunidades de insectos. Topo – **Comunidade 1**; Base – **Comunidade 2** (extraído de SHULTZ *et al.*, 1999).

### 3. AMOSTRAGEM DA BIODIVERSIDADE

É virtualmente impossível contar todos os indivíduos ou mesmo todas as espécies existentes numa dada região, nomeadamente as espécies raras dada a dificuldade na sua detecção. Por este motivo, os valores de biodiversidade assentam não em contagens absolutas de todos os indivíduos de todas as espécies numa dada área, mas antes em estimativas de abundância obtidas por amostragem. Infelizmente, as estimativas podem ser enviesadas por diversos factores, alguns associados ao

esforço de amostragem. Importa notar que se o objectivo de um trabalho for comparar as estimativas de biodiversidade em diferentes comunidades, é importante que o mesmo método e esforço de amostragem sejam utilizados em cada comunidade.

Um modo de determinar se o esforço de amostragem é adequado consiste em construir uma curva de riqueza específica acumulada (Fig. 1.4), baseado no princípio de que o número total de espécies detectadas deverá estabilizar com um aumento do esforço de amostragem. O número óptimo de unidades de amostragem será aquele que forneça uma medida razoável do total de espécies sem desperdício com sobre-amostragem. No exemplo ilustrado na Fig. 4, dez amostras são suficientes para estimar o número total de espécies; vinte amostras requerem o dobro do esforço e produzem praticamente as mesmas estimativas.



**Figura 1.4** – Curva hipotética de riqueza acumulada com um aumento do esforço de amostragem (abcissas: N.º de amostras; ordenadas: N.º de espécies) (extraído de SHULTZ *et al.*, 1999).

Medir e monitorizar a biodiversidade são acções importantes com vista à implementação de decisões políticas e de gestão ambiental adequadas. Permitem também determinar como certas actividades humanas afectam a diversidade biológica e como podemos minimizar os seus efeitos.

#### **4. OBJECTIVOS DA UNIDADE PEDAGÓGICA**

Nesta unidade pedagógica (UP), irá proceder-se-á à classificação e análise de dados sobre comunidades de aranhas para explorar o conceito de Biodiversidade e demonstrar a sua aplicação na tomada de decisões em conservação da natureza.

O **objectivo geral** consiste na avaliação da diversidade de comunidades de aranhas em diferentes locais e usar esta informação para priorizar níveis de proteção. Como **objectivos específicos**, irá ter a oportunidade de (1) construir uma curva de riqueza específica acumulada, (2) conhecer alguns procedimentos básicos para classificar organismos em unidades taxonómicas operacionais, (3) determinar riquezas específicas para diferentes locais, (4) aplicar o índice de diversidade de Simpson, (5) usar índices de similaridade para avaliar o grau de semelhança das comunidades de diferentes locais.

## **5. DESENVOLVIMENTO DA UNIDADE PEDAGÓGICA**

A unidade pedagógica desenvolver-se-á em duas aulas práticas.

### **1.ª AULA – CLASSIFICAÇÃO DE UMA COLEÇÃO DE ARANHAS E CONSTRUÇÃO DE UMA CURVA DE RIQUEZA ESPECÍFICA ACUMULADA**

### **2.ª AULA – COMPARAÇÃO DA DIVERSIDADE DE ARANHAS ENTRE LOCAIS PARA PRIORIZAR OS ESFORÇOS DE CONSERVAÇÃO**

*Original de James P. Gibbs, Ian J. Harrison & Jennifer Griffiths*

*Adaptado por Adriana Bravo Ana Porzecanski e António Mira*

#### **5.1 INTRODUÇÃO**

Objetivos e enquadramento

Neste exercício, proceder-se-á à classificação e análise de dados sobre comunidades de aranhas para explorar o conceito de diversidade biológica e demonstrar a sua aplicação na tomada de decisões em conservação da natureza.

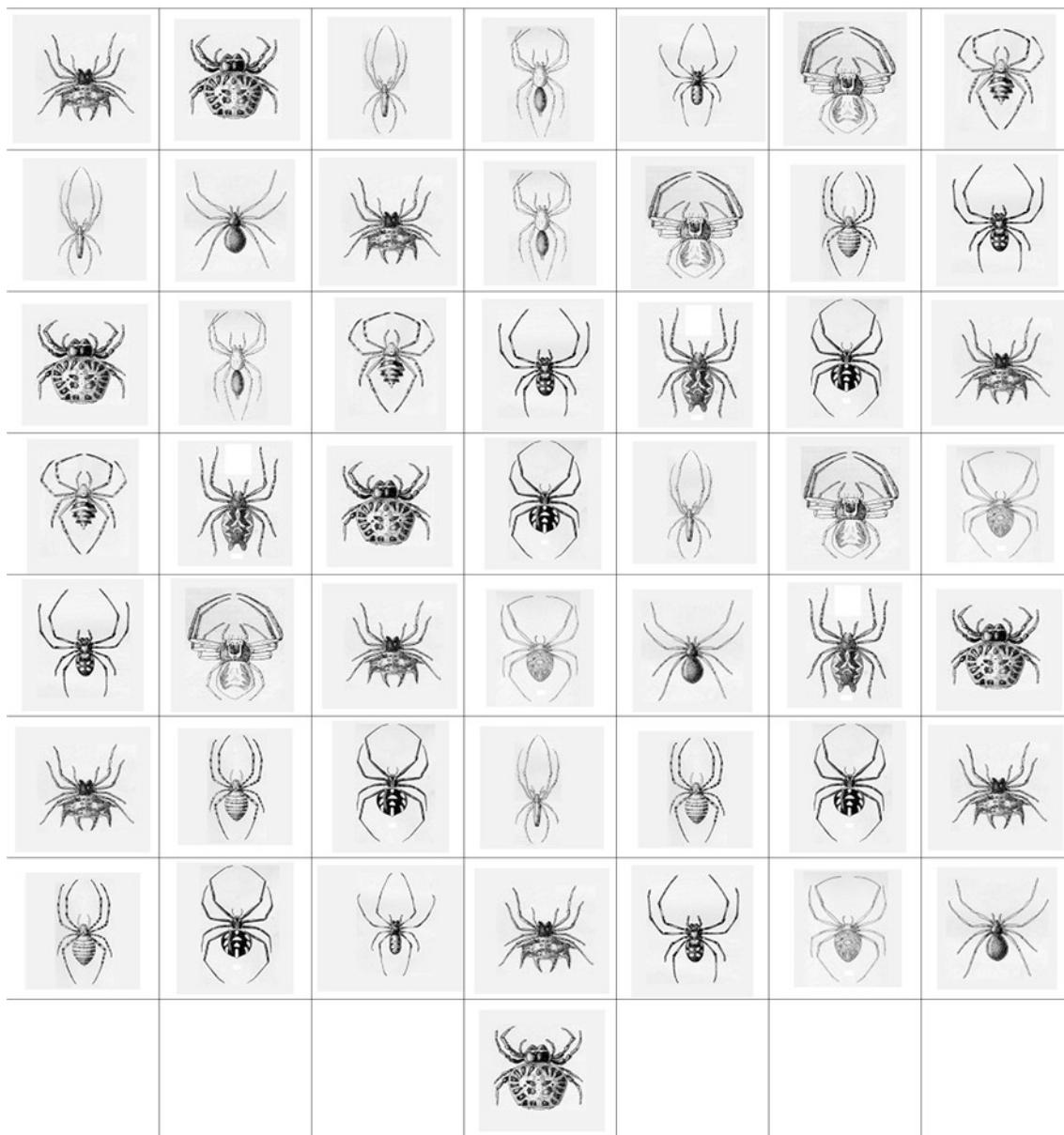
As aranhas são um grupo de invertebrados ricos em espécies que exploram uma ampla variedade de nichos em praticamente todos os biomas da Terra. Algumas espécies de aranhas constroem teias elaboradas que prendem passivamente as suas presas, enquanto outras são predadores ativos que fazem emboscadas ou perseguem as presas. Embora as aranhas estejam todas num grupo taxonómico (classe Arachnida), elas representam indicadores úteis de alterações ambientais e da diversidade ao nível da comunidade porque são taxonomicamente diversas, e as espécies ocupam uma grande variedade de nichos ecológicos. Além disso são fáceis de capturar e estudar.

## **5.2 TRABALHO PRÁTICO**

### **Parte I**

- 1) Na figura 1.5, apresenta-se um conjunto de aranhas amostradas numa mancha florestal em África ("Local 1"). As aranhas foram capturadas por um biólogo ao longo de transectos realizados a pé. Nestes, de uma forma aleatória foram sacudidos 100 ramos de árvores. Todas as aranhas que caíram num lençol esticado foram recolhidas e preservadas em álcool. Posteriormente, as aranhas foram espalhadas num tabuleiro para se proceder ao seu exame. As ilustrações das aranhas recolhidas apresentam-se alinhadas em linhas e colunas para que, se desejar, possa recortá-las com uma tesoura.

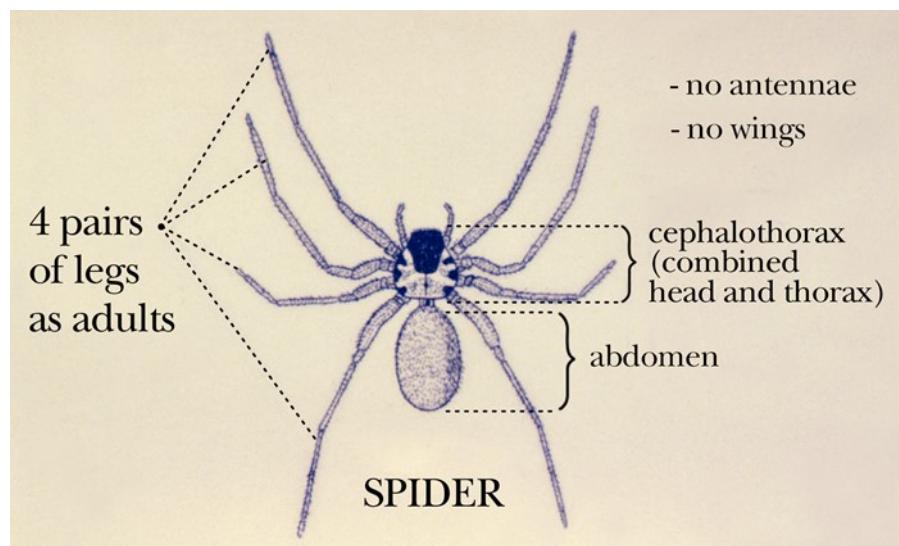
## Site 1



**Figura 1.5.** Comunidade de aranhas capturadas no local 1.

- 2) A próxima tarefa é identificar e classificar as aranhas que estão representadas em alta resolução na figura 1.5. Para classificar as aranhas, procure características externas que todos os membros de um determinado grupo de aranhas tenham em comum, mas que não estejam presentes noutros grupos

- de aranhas. Por exemplo, procure características como comprimento da pata, tamanho relativo dos segmentos corporais ou padrão e formato do abdómen.
- 3) Procure grupos de aranhas morfológicamente indistinguíveis e descreva resumidamente o conjunto de características únicas de cada grupo. Com este procedimento definirá “**unidades taxonómicas operacionais**” que para efeitos deste exercício serão consideradas espécies distintas. Para o ajudar a classificar esses organismos, é fornecido um diagrama das principais características morfológicas externas das aranhas (Figura 1). Frequentemente, a identificação das aranhas é baseada num exame cuidadoso da genitália. No entanto, para este exercício, examinaremos apenas as características externas gerais de diferentes espécies.
- 4) Atribua a cada espécie um nome de trabalho, de preferência algo descriptivo. Por exemplo, pode designar um grupo específico de “abdómen pequeno e pontiagudo” ou “pernas curtas, abdómen pontiagudo”. Lembre-se que os nomes mais úteis serão aqueles que incluem de forma sucinta características únicas do grupo. Enquanto trabalha na identificação, rotule cada grupo (espécie) da coleção. Estes dados serão usados na Parte III do exercício. Use a figura 1.6 para o ajudar nesta classificação.
- 5) Preencha a Tabela 1 listando cada espécie, as suas características distintivas, o nome que aplicou e o número de indivíduos incluídos nesse grupo. Com essas informações, complete a Tabela 1.2.



**Figura 1.6.** Características externas básicas das aranhas que são úteis para identificar indivíduos e incluí-los nos grupos taxonómicos (espécies). Fonte: CDC.

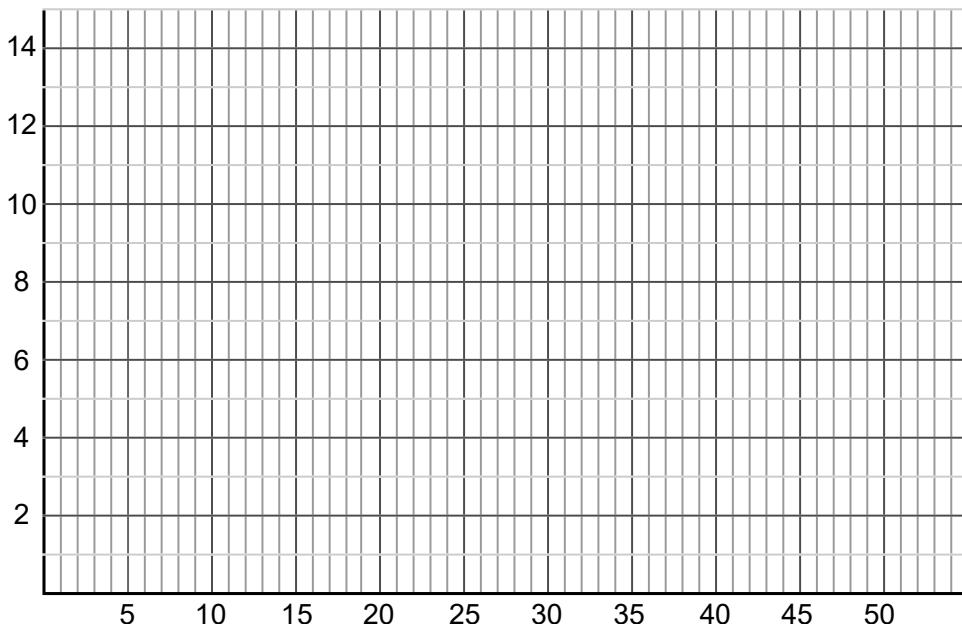
**Tabela 1.2** Nome da espécie (grupo), características e número de indivíduos para a coleção de aranhas do Local 1.

## **PARTE II**

A seguir, em trabalho individual deverá investigar se esta coleção representa adequadamente a verdadeira diversidade de aranhas da mancha florestal na ocasião em que foi recolhida. Será que a maioria das espécies presentes foi amostrada ou algumas foram perdidas? Esta é sempre uma pergunta importante a fazer para garantir que a amostra é representativa e, portanto, pode ser legitimamente usada para comparações entre locais para, por exemplo, designar áreas como locais de baixa e alta diversidade.

Para isso irá realizar uma análise simples, mas informativa, de acordo com prática padrão usada por biólogos da conservação em pesquisas de biodiversidade. Esta análise envolve a construção de uma curva de "riqueza específica acumulada". Esta curva representa o número cumulativo de espécies observadas em relação ao esforço de amostragem. **Neste exercício, para simplificar vamos assumir que o número de indivíduos recolhidos é diretamente proporcional ao esforço de amostragem. Assim, poderemos construir uma curva de riqueza específica acumulada em função do número cumulativo de indivíduos recolhidos, que nesta situação particular será equivalente à curva construída em função do esforço de amostragem.** A inclinação da curva de acumulação de espécies diminuirá à medida que mais indivíduos são identificados e menos espécies permanecem para serem identificadas.

Usando a coleção de aranhas do Local 1, crie um gráfico que representa a curva de acumulação de espécies onde o eixo y representa o número de espécies observadas.



Legenda:

Para construir a curva de acumulação de espécies das aranhas, escolha um espécimen dentro da coleção aleatoriamente. Este será o seu primeiro ponto de dados, tal que  $X = 1$  e  $Y = 1$ , porque depois de examinar o primeiro indivíduo irá também identificar uma nova espécie! Em seguida, siga de maneira consistente em qualquer direção para um novo espécimen e registe se ele é membro de uma nova espécie. Nesta próxima etapa,  $X = 2$ , mas  $Y$  pode permanecer como 1 se o próximo indivíduo não for de uma nova espécie ou pode mudar para 2 se o indivíduo representar uma nova espécie diferente do indivíduo

1. Repita este processo até ter considerado todos os 50 espécimes e construa a curva de acumulação de espécies a partir dos dados obtidos.
2. Desenhe seu gráfico, identifique os eixos x e y e adicione uma legenda no espaço fornecido em baixo.

Como deve ter reparado, a curva de acumulação de espécies é uma função crescente com uma inclinação que diminuirá à medida que mais indivíduos são classificados e menos espécies permanecem para serem identificadas. Se a amostragem parar

enquanto a curva ainda está a aumentar rapidamente, a amostragem é incompleta e muitas espécies provavelmente não serão detetadas. Alternativamente, se a inclinação da curva atingir zero (nivela), a amostragem é provavelmente adequada, já que poucas ou nenhuma nova espécie permanece sem ser detetada.

Por favor responda às seguintes questões:

3. A curva para o local 1 fica achatada?

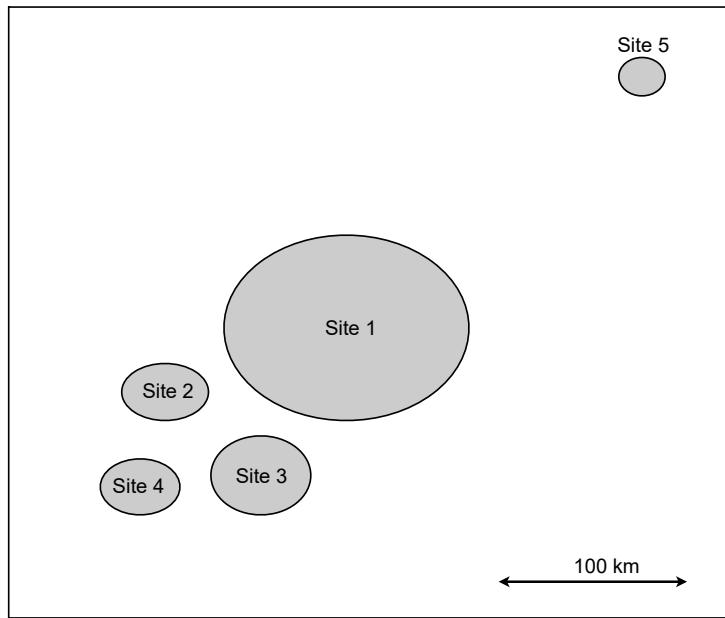
4. Se isto aconteceu, indique o número de indivíduos recolhidos/identificados partir do qual a curva ficou achatada. Se não, a curva ainda está a aumentar, isto é, a curva ainda está visivelmente inclinada?

5. Com base na forma da curva de acumulação de espécies, acha que esta amostra de aranhas é uma representação adequada da diversidade de aranhas no local? Justifique a sua resposta.

### **PART III - COMPARAÇÃO DA DIVERSIDADE DE ARANHAS ENTRE LOCAIS PARA PRIORIZAR OS ESFORÇOS DE CONSERVAÇÃO**

Agora são-lhe fornecidos dados de cinco fragmentos de floresta que contêm diferentes comunidades de aranhas. Se tivesse de fazer uma recomendação, como classificaria esses locais para conservação e porquê? Com este procedimento poderá responder a esta pergunta de acordo com os dados disponíveis.

Os fragmentos de floresta costumavam representar a situação atual uma floresta originalmente muito maior e contínua que agora está fragmentada. Um mapa das manchas de floresta, mostrando seu tamanho e proximidade entre si, é apresentado na Figura 1.7.



**Figura 1.7.** Mapa de cinco manchas de floresta onde as aranhas foram amostradas.

A Tabela 1.2 apresenta dados detalhados sobre as espécies amostradas em cada uma das cinco comunidades de aranhas. Embora para este exercício só precise de informações no nível da espécie, a família das aranhas é também apresentada. Mais detalhes sobre as famílias são fornecidos no Anexo 1. Cada célula na tabela tem o número de indivíduos (ou espécimes) daquela espécie em particular na amostra de cada fragmento.

**Tabela 1.2.** Espécies amostradas em cada uma das cinco manchas florestais, classificadas por família.

Família	Espécie	Local				
		1	2	3	4	5
Araneidae	1	-	-	-	15	-
Araneidae	2	4	6	41	-	-
Araneidae	3	3	-	-	-	8
Araneidae	4	7	-	-	-	-
Araneidae	5	-	4	1	-	-
Araneidae	6	4	6	1	-	-
Araneidae	7	3	-	-	-	-
Araneidae	8	4	-	-	-	-
Araneidae	9	5	-	-	-	-
Araneidae	10	2	-	-	-	-
Clubionidae	11	-	-	-	7	-
Dysderidae	12	-	-	-	-	8
Eresidae	13	-	-	-	-	10
Gnaphosidae	14	3	6	1	-	-
Palpimanidae	15	-	5	1	-	8
Salticidae	16	-	-	-	7	-
Salticidae	17	-	-	-	7	-
Sicariidae	18	-	-	-	-	8
Theridiidae	19	3	4	2	7	8
Theridiidae	20	3	6	1	-	-
Theridiidae	21	5	8	1	-	-
Thomisidae	22	4	5	1	7	-
<i>Total de indivíduos amostrados</i>		50	50	50	50	50
<i>Total de espécies identificadas</i>		13	9	9	6	6

Agora pode analisar os dados com mais detalhe calculando diferentes parâmetros de características da comunidade para o ajudar a decidir acerca do nível de proteção dos fragmentos de floresta. Precisará de hierarquizar os locais (manchas florestais) em termos de onde os esforços de proteção deverão ser prioritariamente aplicados e deverá justificar a sua classificação.

Para facilitar o seu trabalho, deverá basear as suas decisões em quatro características da comunidade:

- **riqueza específica em cada local (mancha florestal)**
- **diversidade de espécies em cada local**
- **número de espécies endémicas ou únicas em cada local**
- **similaridade das comunidades de aranhas entre os vários locais.**

Para estimar a diversidade de espécies, usaremos um índice recíproco de Simpson, anteriormente explicado ( $\text{Índice de diversidade de Simpson} = 1 / D$ ; onde  $D = \sum p_i^2$ ; e  $p_i = (n_i/N)$  ou seja, corresponde à abundância relativa da espécie  $i$  num dado local).

Para obter o  $p_i$ , para cada local é necessário converter o número de indivíduos de cada espécie na respetiva proporção relativamente o número total de indivíduos capturados naquele local. Por exemplo, se a sua amostra corresponde 10 aranhas num dado local e elas pertencem a duas espécies, representadas por cinco indivíduos cada, então a abundância relativa de cada espécie é  $5/10 = 0,5$ . Calcular a abundância relativa equivale a perguntar: que proporção do total de indivíduos (ou espécimes) amostrados pertence a esta espécie?

Para o mesmo exemplo de uma amostra de duas espécies com cinco indivíduos cada, Índice de diversidade de Simpson será:

$$1 / D = 1 / (D \sum p_i^2) = 1 / [(0,5)^2 + (0,5)^2] = 2.$$

Quanto maior o valor, maior a diversidade. O valor máximo da diversidade de espécies num dado local é o número total de espécies da amostra, que é alcançado quando todas as espécies contêm um número igual de indivíduos. Use a folha de cálculo representada na Tabela 1.3 para o ajudar a calcular a diversidade de espécies para cada local e, preencha na mesma tabela os valores na linha Diversidade ( $1 / D$ ), para cada local.

**Tabela 1.3.** Dados e exemplos para calcular a diversidade de espécies para cada um dos cinco locais amostrados. Note que  $pi=ni/N$

Espécies	Local 1			Local 2			Local 3			Local 4			Local 5		
	Espécimes	$p_i$	$p_i^2$												
1	-	0	0	-	0	0	-	0	0	15	0.3	0.09	-		
2	4	0.08	0.0064	6	0.12	0.0144	41			-			-		
3	3	0.06	0.0036	-			-			-			8		
4	7	0.14	0.0196	-			-			-			-		
5	-			4			1			-			-		
6	4			6			1			-			-		
7	3			-			-			-			-		
8	4			-			-			-			-		
9	5			-			-			-			-		
10	2			-			-			-			-		
11	-			-			-			7			-		
12	-			-			-			-			8		
13	-			-			-			-			10		
14	3			6			1			-			-		
15	-			5			1			-			8		
16	-			-			-			7			-		
17	-			-			-			7			-		
18	-			-			-			-			8		
19	3			4			2			7			8		
20	3			6			1			-			-		
21	5			8			1			-			-		
22	4			5			1			7			-		
D ( $\sum p_i^2$ )	-	-		-	-		-	-		-	-		-	-	
Diversidade (1/D)	-	-		-	-		-	-		-	-		-	-	
Especímenes	50			50			50			50			50		
Espécies	13			9			9			6			6		

Além disso, observe que alguns locais têm um número maior de espécies únicas ou seja que só ocorrem naquele local. Complete a Tabela 1.4 indicando o número de espécies únicas presentes em cada local.

**Tabela 1.4.** Espécies únicas por local.

	Local 1	Local 2	Local 3	Local 4	Local 5
Número de espécies únicas					

Finalmente, outra perspectiva importante na hierarquização dos locais é a quanto semelhantes ou diferentes são as comunidades umas das outras. Usaremos a medida mais simples disponível de similaridade de comunidade, isto é, o **coeficiente de similaridade de comunidade de Jaccard (CCJ)**, para comparar todos os pares possíveis de locais:

$$CCJ = c/S$$

onde **c** é o número de espécies comuns a ambas as comunidades e **S** é o número total de espécies presentes nas duas comunidades. Este coeficiente fornece uma indicação de quantas espécies dois locais têm em comum. Por exemplo, se um local contém apenas 2 espécies e o outro local 2 espécies, uma das quais é comum em ambos os locais, o número total de espécies presentes é 3 e o número compartilhado é 1, então  $1/3 = 0,33$ , ou 33%.

Este índice varia entre 0 (quando nenhuma espécie é em comum entre os dois locais em comparação) e 1 (quando todas as espécies ocorrem nos dois locais que estamos a comparar). Este índice deve ser calculado separadamente para cada par de locais, ou seja, comparar o Site 1 com o Local 2, o Site 1 com o Local 3, etc.. Para os 5 locais em estudo há um total de 10 comparações a fazer). Registe na Tabela 1.5 os Coeficientes de Jaccard nas comparações entre todos os pares de locais. Além disso, para comparar todas as medidas de diversidade, transfira para esta tabela os valores que estimou anteriormente para riqueza de espécies, diversidade de espécies e número de espécies únicas para cada local.

**Tabela 1.5.** Resumo dos parâmetros de comunidade para cada local, incluindo, semelhança das comunidades entre cada par de locais (coeficiente de Jaccard) e outras índices previamente calculados.

	Local 1	Local 2	Local 3	Local 4	Local 5
Local 1					
Local 2					
Local 3					
Local 4					
Local 5					
Riqueza	13	9	9	6	6
Diversidade					
# Espécies únicas					

#### **Parte IV - Priorizar esforços de conservação**

Depois de concluir os cálculos, hierarquize os cinco locais em termos de conservação da biodiversidade e explique o porquê das suas opções.

Tomar uma decisão informada para classificar os locais requer reconciliar os conceitos de diversidade e nível de distinção (inverso de similaridade). A sua decisão pode basear-se nas estimativas da riqueza específica, diversidade e similaridade de comunidades. No entanto, depois de usar estas estimativas, também querer considerar a localização relativa das manchas de floresta apresentadas na Figura 1.7 e compará-la com os valores de similaridade entre os locais.

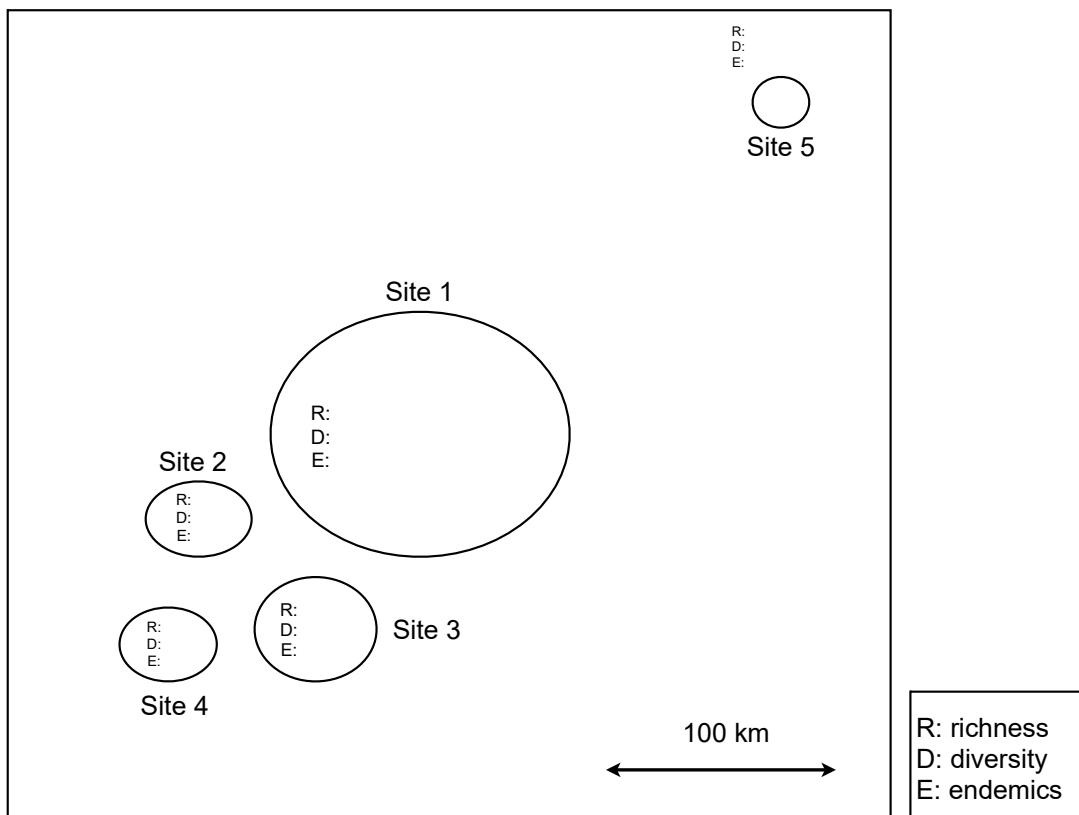
Tendo em conta os resultados da sua avaliação, leia e responda cuidadosamente às seguintes perguntas:

6. Um instituto regional de conservação da natureza pede-lhe priorizar a conservação dos fragmentos florestais remanescentes (locais) mostrados na Figura 1.7. Eles pedem especificamente que indique duas hierarquizações possíveis para o nível de proteção diferentes de proteção (por exemplo, 1,3,2,5,4 do mais alto para o mais baixo prioridade ou 5,4,3,1,2) e explicar claramente os critérios usados para fazer a hierarquização.

(Nota: Use TODAS as informações disponíveis sobre biodiversidade, dissimilaridade e localização geográfica das manchas florestais (locais). Para facilitar a tomada de decisão, complete a informação na figura 5 e use esta figura para identificar e apoiar as suas sugestões de hierarquização dos locais.)

**Tabela 1.6.** Priorização para conservação das parcelas florestais com base nos resultados anteriores e na localização das mesmas

	Priorização (e.g. 1,2,5,4,3)	Critérios usados e explicação
1		
2		



**Figura 1.8.** Localização das manchas de floresta (locais) onde as aranhas foram amostradas. Complete com a informação da tabela 1.5 o resumo de parâmetros de biodiversidade para cada local.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MAGURRAN, A.E. 1988. **Ecological Diversity and Its Measurement.** Princeton University Press.
- PIELOU, E.C. 1975. **Ecological Diversity.** Wiley.
- SHANNON, C.E. & WEAVER, W. 1949. **The Mathematical Theory of Communication.** University of Illinois Press, Urbana.
- SHULTZ, S.M., DUNHAM, A.E., ROOT, K.V., SOUCY, S.L., CARROLL, S.D. & GINZBURG, L.R. 1999. **Conservation Biology with RAMAS® EcoLab.** Sinauer Associates Inc.
- SIMPSON, E.H. 1949. Measurement of diversity. **Nature, 163:** 688.

# BIOLOGIA DA CONSERVAÇÃO

## AULAS PRÁTICAS

**2.ª UNIDADE PEDAGÓGICA:** A maior ameaça à Biodiversidade: o crescimento da população humana (adaptado de AKÇAKAYA *et al.*, 1999; SHULTZ *et al.* 1999)

---

### 1. INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, o impacte de uma única espécie sobre o ambiente global do Planeta nunca se fez sentir de forma tão intensa e num tão curto espaço de tempo como o que se observa actualmente com a espécie humana. É importante para os estudantes de Biologia da Conservação entenderem as repercuções que o crescimento populacional humano, e o aumento significativo do consumo têm sobre os ecossistemas da Terra, com implicações na qualidade de vida das gerações vindouras. Não haverá soluções a longo termo para os problemas ambientais e sócio-económicos se a taxa de crescimento populacional continuar às taxas actuais.

O crescimento humano é um exemplo de uma população com crescimento exponencial (figura 2.1). Em meados do séc. XVIII o número de pessoas na Terra era aproximadamente 770 milhões. Em 1900 o efectivo tinha mais do que duplicado, e mais de mil milhões de pessoas tinha sido adicionado à população. Em 1950 éramos mais de dois mil milhões e meio e em Outubro de 1999 existiam mais de seis mil milhões de seres humanos no Planeta.

Durante grande parte da História, o crescimento da população humana foi lento e gradual. Contudo, com o advento da medicina moderna, da mecanização e intensificação da agricultura e das práticas sanitárias, a esperança de vida aumentou e mais pessoas sobrevivem para se reproduzir. Estes avanços removeram muitos limites ao crescimento populacional que durante muito tempo manteve o efectivo relativamente estável. Os avanços médicos no século XX permitiram controlar, nos países desenvolvidos, várias

doenças infecciosas como a pneumonia, a tuberculose, a varíola e outras doenças. Devido à melhor nutrição e controlo sanitários, as pessoas hoje, vivem mais tempo. Em muitos países os agricultores produzem em excesso o que permite suportar uma população em crescimento. A gestão e tratamento dos esgotos permitiram-nos crescer sem comprometer a qualidade do fornecimento de água. Os efeitos dos factores dependentes da densidade, que normalmente estabilizam as populações naturais, foram amplamente atenuados.

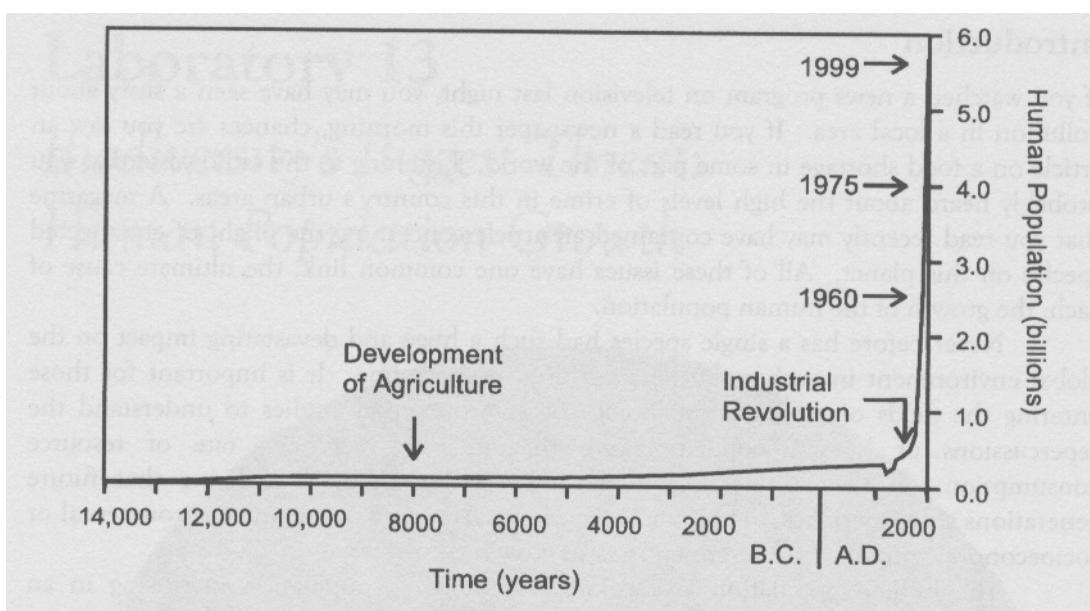


Figura 2.1. Crescimento da população humana ao longo do tempo. O declínio observado entre 1347 e 1351 D.C. representa a morte de 25 milhões de pessoas devido à peste bubónica. (Adaptado de Starr & Taggart, 1995 *in* Shultz *et al*, 1999)

Embora possa não parecer óbvio, sobretudo nos países desenvolvidos, a taxa actual de crescimento da população humana ameaça não só os ecossistemas como o próprio nível de vida das pessoas. Os humanos não podem escapar para sempre à dependência da densidade. Não é possível aumentar indefinidamente a capacidade de suporte da Terra. Se a população humana continuar a crescer sem limites, a fome e as doenças irão alastrar. No tempo actual pelo menos mil milhões de pessoas têm fome ou estão subnutridas. Este número continuará a aumentar se o crescimento populacional continuar e cada vez mais recursos forem consumidos.

## 2. QUANTOS SERES HUMANOS?

Qual é a capacidade de suporte da Terra? Quantas pessoas podem viver no Planeta, de uma forma sustentada? Estas questões têm sido colocadas por muitos investigadores; contudo, poucos chegaram a acordo sobre o número, tendo as estimativas variado entre mil milhões e um trilião de pessoas. Esta enorme diferença depende do nível de vida médio das pessoas, da quantidade e tipo dos recursos consumidos, dos avanços na produção agrícola e de outros serviços. Por exemplo, se o estilo de vida ocidental, sobretudo o americano, se estendesse aos mais de seis mil milhões de seres humanos na Terra, os recursos rapidamente se esgotariam e não demoraria muito tempo para que a qualidade de vida se deteriorasse de forma significativa. Com aquele padrão de consumo, a capacidade de suporte do Planeta seria bastante baixa. Por outro lado, com a melhoria da agricultura e uma mudança nos estilos de vida das pessoas nos países desenvolvidos, a Terra poderia manter de forma sustentada mais pessoas do que as que existem actualmente.

## 3. UM PLANETA DOMINADO PELOS HUMANOS

Se considerarmos a história da Terra e dos seres vivos, percebemos que fazemos parte do sistema há muito pouco tempo. Contudo dominámos o Planeta e modificámos o ambiente, como nunca tinha acontecido com outra espécie. Não há lugares na superfície do globo que não tenham sido afectados, de alguma forma, pelas actividades humanas. Esta situação resultou do crescimento populacional e da quantidade e variedade dos recursos usados.

Através da agricultura, indústria, caça e pesca e pelo comércio internacional, a população humana atingiu a sua dimensão e níveis de consumo actuais. Ao mesmo tempo, estas actividades transformaram as áreas naturais, redistribuíram as espécies, proporcionando invasões biológicas, e levaram à perca de muitas espécies pela caça, pesca e extração florestal. Estes processos, por sua vez, afectaram o funcionamento dos ecossistemas e os ciclos naturais dos nutrientes tais como o carbono, nitrogénio, água e outros

elementos (figura 2.2). Estamos a provocar perdas na biodiversidade e alterações climáticas ao nível global.

Os ecossistemas da Terra estão definitivamente a alterar-se pela influência humana. Mas como é que isso nos afecta? Actualmente, 43 % da superfície terrestre já perdeu alguma capacidade de produção em termos de agricultura, pecuária ou outros benefícios. A Terra está a começar a perder, em muitas regiões, alguns serviços dos ecossistemas. Terras outrora produtivas estão convertidas em desertos; perderam-se zonas húmidas que contribuíam para a purificação das águas subterrâneas e superficiais; e os organismos polinizadores, necessários para a agricultura, começam a escassear nalgumas áreas. Estamos a perder espécies e populações que nos fornecem alimento ou novos fármacos através da caça, pesca ou desflorestação excessivas.

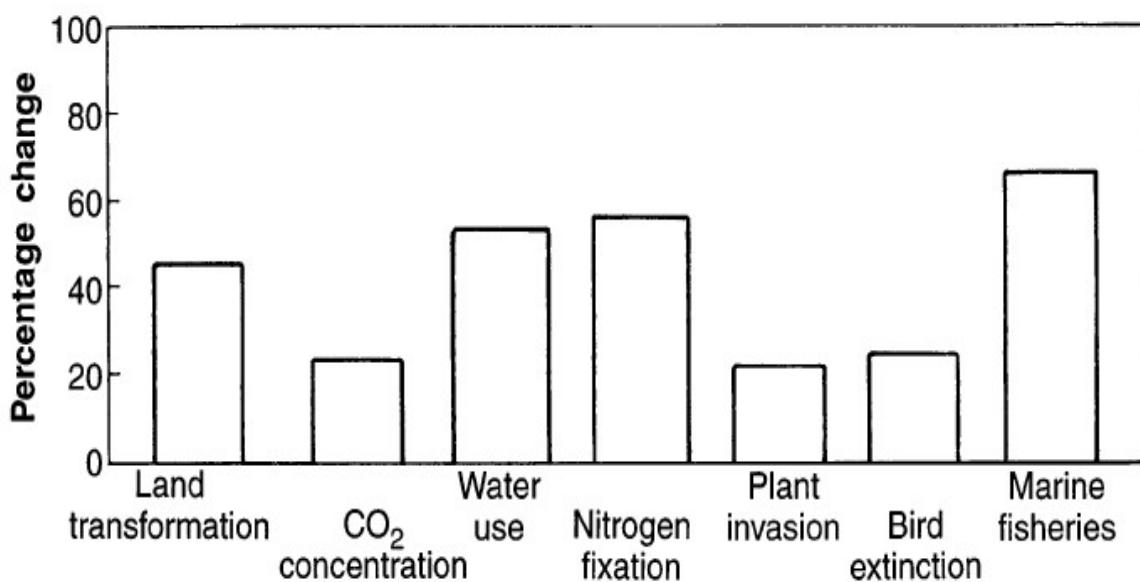


Figura 2.2. Alterações induzidas pela espécie humana, no uso do solo, nível de CO<sub>2</sub>, uso de água-doce, nitrogénio fixado no solo, invasões de plantas exóticas, espécies de aves extintas e exploração das pescas marinhas. (Adaptado de Vitousek *et al*, 1997 *in* Shultz *et al*, 1999)

#### 4. O CONSUMO EM EXCESSO

Em geral, a população dos países desenvolvidos está a crescer a uma taxa inferior à dos países mais pobres, menos industrializados. Significa isto

que a responsabilidade dos estragos nos ecossistemas da Terra é dos países mais pobres? A taxa de crescimento mais baixa nos países em desenvolvimento não significa que países como os Estados Unidos ou regiões como a Europa tenham um impacte inferior no ambiente. Com efeito, os países desenvolvidos consomem mais recursos e produzem mais lixo por indivíduo que os países em desenvolvimento. As pessoas nos Estados Unidos consomem 20 a 30 vezes mais recursos que as pessoas naqueles países. Numa perspectiva global, portanto, a preocupação com a taxa de crescimento populacional e consumo dos recursos deverá ser maior com a situação que se verifica nos países desenvolvidos. Cada pessoa acrescida, por nascimento ou imigração, à população dos Estados Unidos ou da Europa, contribuirá mais para os problemas ambientais do Mundo que uma pessoa nascida em África.

O “World Wildlife Fund” (WWF) estimou a pressão média devida ao consumo individual (i.e., uma medida da pressão ambiental efectuada por cada indivíduo do Planeta). Esta pressão, em vários países, apresenta-se na figura 2.3. A figura 2.4 ilustra o mesmo parâmetro, mas integra o tamanho da população de cada país. Da análise de ambas as figuras percebe-se que países mais populosos e/ou com nível de vida mais elevado são os que afectam mais o ambiente.

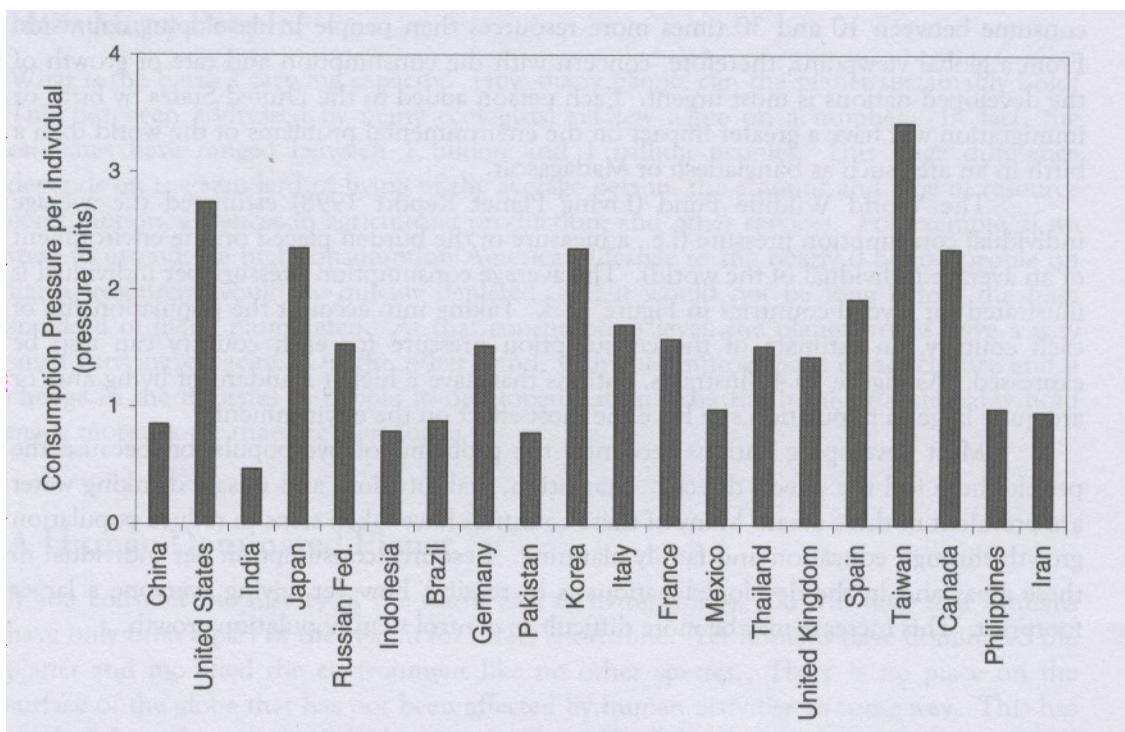


Figura 2.3. Taxa de consumo média, por indivíduo para alguns dos países mais populosos. (Adaptado de WWF, 1998 *in* Shultz *et al*, 1999).

A maioria dos países em desenvolvimento reconhece os problemas inerentes ao excesso de população, pois as pessoas sentem-nos directamente. Fome, subnutrição e falta de água potável são frequentes nestas regiões. Muitos destes países tomaram medidas no sentido de reduzir o crescimento populacional através da educação e do planeamento familiar. O consumo individual de recursos nestas áreas e nos países desenvolvidos está, contudo, a aumentar, elevando a “pegada ecológica” de cada um de nós. Este processo poderá ser mais difícil de controlar que o crescimento da população humana.

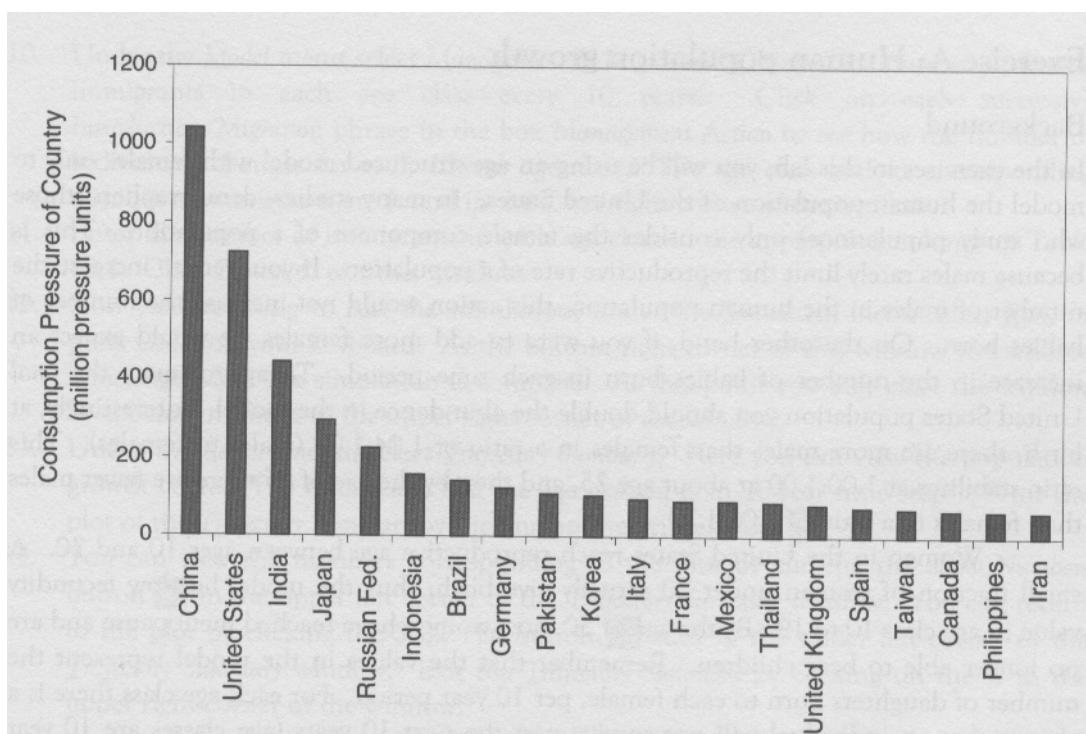


Figura 2.4 Pressão colocada no ambiente, por país. Esta estimativa baseia-se no consumo médio por indivíduo e na população total de cada país. (Adaptado de WWF, 1998 *in* Shultz *et al*, 1999)

## 5. TAXAS DE CRESCIMENTO EM DECLÍNIO?

Em 1988, a taxa de crescimento da população mundial era 1.7 % e, em média, cada mulher criava 3.6 crianças. Em 1998, a taxa de crescimento

diminuiu para 1.4 % e estimava-se que cada mulher criava, em média, 2.9 filhos. Este decréscimo nas taxas vitais está a ocorrer nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. A fecundidade nos países em desenvolvimento diminuiu de 4.9 para 3.8 (em média mais de uma criança por mulher). Nos países desenvolvidos a fecundidade caiu de 1.9 para 1.6. Na Europa o crescimento populacional parou e evidencia mesmo um ligeiro decréscimo. Alguns encaram esta situação como uma má notícia, afirmando que a população humana está em apuros. Em vez disso, isto pode ser muito benéfico para o ecossistema mundial dada a elevada densidade populacional que se observa neste continente e devido à relativamente elevada “pegada ecológica” dos habitantes das nações europeias.

Apesar destas tendências, a população do mundo ainda está a aumentar. Estas alterações apenas adiaram a data em que se espera que a população atinja os oito mil milhões de pessoas de 2019 para 2024. A não ser que os padrões de consumo se alterem significativamente, a maioria dos investigadores acredita que o tamanho actual da população não é sustentável para sempre, mesmo que no futuro a taxa de crescimento abrande.

## 6. CRESCIMENTO EXPONENCIAL

O número total de indivíduos numa população ( $N$ ) pode apenas alterar-se em função do número de nascimentos ( $B$ ), mortes ( $M$ ), imigrantes ( $I$ ) e emigrantes ( $E$ ). A alteração no efectivo populacional num intervalo de tempo discreto, de  $t$  para  $t+1$ , pode então ser descrita pela equação:

$$N_{t+1} = N_t + B - M + I - E$$

Muitas populações (por exemplo, em ilhas) estão isoladas e não ocorre imigração nem emigração. Nestes casos o modelo torna-se mais simples:

$$N_{t+1} = N_t + B - M$$

Frequentemente expressam-se os nascimentos como a taxa de fecundidade,  $f$ . Esta pode ser descrita como o número médio de indivíduos que nascem, por indivíduo vivo no tempo  $t$ , e que sobrevivem para ser contabilizados no tempo  $t+1$ . A mortalidade é expressa em termos de uma taxa de sobrevivência ( $s$ ), a qual corresponde à proporção de indivíduos vivos no tempo  $t$  que sobrevivem até ao tempo  $t+1$ .

O crescimento populacional passa então a ser dado por:

$$N_{t+1} = N_t \cdot (f+s)$$

O termo  $(s+f)$  corresponde à taxa de aumento da população (ou crescimento populacional =  $R$ ) e é frequentemente representado pelo símbolo  $R$ . Podemos então reescrever a equação anterior como

$$N_{t+1} = N_t \cdot R$$

$R$  designa-se por taxa finita de crescimento da população. Apesar das designações “aumento” e “crescimento” na sua definição,  $R$  pode descrever aumentos ou decréscimos na abundância de indivíduos. Se  $R$  for superior a 1 a população aumenta e se for inferior a 1, diminui. Quando os nascimentos e as mortes se igualam,  $R$  toma o valor 1 e a abundância populacional permanece a mesma.

Se quisermos prever abundância populacional para dois anos, em vez de um, podemos usar a equação anterior duas vezes:

$$N_{t+2} = N_{t+1} \cdot R$$

Se combinarmos as duas equações,

$$N_{t+2} = N_t \cdot R \cdot R$$

$$N_{t+2} = N_t \cdot R^2$$

Mais genericamente, se quisermos estimar o efectivo populacional  $t$  intervalos de tempo no futuro a partir do tempo inicial zero, a equação do crescimento populacional pode ser escrita como

$$N_t = N_0 \cdot R^t$$

**(Esta é a formula que deverá usar para resolver os exercícios)**

O tipo de crescimento descrito por este modelo designa-se por **crescimento exponencial** devido ao termo  $R^t$ . Por vezes é também designado por **crescimento geométrico** ou **crescimento Malthusiano** (por associação com a teoria de Thomas Malthus).

## 7. PRESSUPOSTOS DO MODELO EXPONENCIAL

1. Não existem limites para o crescimento. O crescimento ou declínio exponencial prosseguem por um período indefinido.
2. Todos os indivíduos na população são iguais. Por exemplo, não existe estrutura etária ou dimensional.
3. A população é fechada. Consiste numa única unidade espacialmente homogénea.
4. Os nascimentos e mortes na população podem ser aproximados como pulsos de reprodução e mortalidade.
5. Não existe variabilidade dos parâmetros populacionais devido a factores ambientais
6. A população pode ser descrita por um número real. Ou seja, não há problema em considerar valores como 2.3 indivíduos.

## 8. EXERCÍCIOS

### 8.1. População humana, 1800-1995

Neste exercício vamos investigar os padrões de crescimento humano nos últimos duzentos anos. **Antes de iniciar o exercício, olhe para o relógio e anote as horas.**

1. Calcule a taxa de crescimento humana para cada um dos intervalos de tempo da tabela 2.I. Note que cada intervalo tem um número diferente de anos: inicialmente 50, depois 20, e por fim 5 anos. É necessário

converter estas taxas em taxas anuais de crescimento (= taxas finitas de crescimento –  $R$ ) para que sejam comparáveis.

Tabela 2.I. Cálculo da taxa anual de crescimento da população humana.

Ano <i>t</i>	População (mil milhões) <i>N<sub>t</sub></i>	Intervalo de tempo (anos) <i>t</i>	População no censo anterior <i>N<sub>0</sub></i>	Taxa de crescimento em T anos <i>N<sub>t</sub>/N<sub>0</sub></i>	Taxa de crescimento anual (R) $(N_t/N_0)^{1/t}$
<b>1800</b>	0.91				
<b>1850</b>	1.13	50	0.91	1.24176	1.00434
<b>1870</b>	1.30				
<b>1890</b>	1.49				
<b>1910</b>	1.70				
<b>1930</b>	2.02				
<b>1950</b>	2.51				
<b>1970</b>	3.62				
<b>1975</b>	3.97				
<b>1980</b>	4.41				
<b>1985</b>	4.84				
<b>1990</b>	5.29				
<b>1995</b>	5.75				

2. Faça um gráfico da taxa de crescimento (R) em função do ano e comente o padrão observado.
3. É importante conhecer a diferença entre taxas de crescimento relativas e absolutas. Embora a taxa de crescimento anual (uma medida relativa do crescimento) diminua, o número de indivíduos adicionado à população em cada ano (uma medida absoluta do crescimento), pode aumentar. O número de indivíduos adicionado à população em cada ano é dado por:  $N.(R-1)$ , onde  $N$  é o efectivo populacional no início de cada ano e  $R$ , a taxa de crescimento anual. Calcule o número de pessoas adicionadas à população humana em cada ano, para 1975, 1985 e 1995, usando os valores de efectivo populacional da tabela 2.II. Complete as células em branco da mesma tabela. Compare as variações

anuais na taxa de crescimento com o aumento absoluto, em cada ano, do efectivo populacional.

Tabela 2.II. Cálculo do número de indivíduos adicionados à população humana.

<b>Ano</b>	<b>Efectivo Populacional</b>	<b>Taxa anual de crescimento</b>	<b>Número de pessoas adicionadas à população em cada ano</b>
<b>1975</b>	3.97 mil milhões		
<b>1985</b>	4.84 mil milhões		
<b>1995</b>	5.75 mil milhões		

4. Usando o número estimado de pessoas adicionado à população humana em 1995, calcule o número aproximado de pessoas adicionado à população:
- por dia
  - por hora
  - por minuto
  - durante o tempo que demorou a completar este exercício

## 8.2. População humana, 1995-2035

Neste exercício vamos investigar um cenário optimista no que se refere ao abrandamento e estabilização do crescimento da população humana. Especificamente vamos determinar o efectivo populacional em 2035 assumindo que nessa ocasião a taxa de crescimento anual ( $R$ ) atingiu o valor 1 (crescimento populacional nulo). Para este exercício assuma que (i) a taxa de fecundidade em 1995 é 0.0273, (ii) a taxa de sobrevivência não varia no futuro, e (iii) nos 40 anos a seguir a 1995 a taxa de fecundidade decrescerá de forma que a taxa de crescimento anual em 2035 seja 1.

1. Usando a taxa de crescimento anual de 1995 calculada no exercício anterior estime o decréscimo anual da fecundidade necessário para que  $R$  em 2035 seja igual a 1. Assuma um decréscimo linear na taxa de fecundidade durante este período de tempo.
2. Calcule a fecundidade e a taxa de crescimento anual para os anos de 2005, 2015, 2025, e 2035 e registe estes valores na tabela 2.III.
3. Calcule as taxas de crescimento para períodos de 10 anos para os períodos 1995-2005, 2005-2015, 2015-2025, e 2025-2035, multiplicando a taxa anual de crescimento, por si própria 10 vezes. Registe os valores na tabela 2.III.
4. Estime o efectivo populacional no final de cada período de 10 anos e registe os valores na tabela 2.III. Quanto aumentou a população enquanto decresceu a fecundidade durante 40 anos? Se a fecundidade decrescesse para o mesmo valor em 80 anos, em vez de 40, a população em 2035 seria maior ou menor?

Tabela 2.III. Projeção do crescimento populacional humano.

Ano	Fecundidade ( $f$ )	Taxa anual de crescimento ( $R$ )	Taxa de crescimento em 10 anos ( $R^{10}$ )	População no inicio do intervalo de 10 anos	População no final do intervalo de 10 anos
1995					
2005					
2015					
2025					
2035					

## 10. REFERÊNCIAS

Akçakaya, H.R.; Burgman, M.A. & Ginzburg, L.R. (1999). **Applied Population Ecology. Principles and Computer Exercises Using RAMAS Ecolab**, 2<sup>nd</sup> ed. Sinauer Associates.

Shultz, S.M.; Dunham, A.E.; Root, K.V.; Soucy, S.L.; Carroll, S.D. & Ginzburg, L.R. 1999. **Conservation Biology with RAMAS® EcoLab**. Sinauer Associates.

# BIOLOGIA DA CONSERVAÇÃO

## AULAS PRÁTICAS

**3.ª UNIDADE PEDAGÓGICA:** Os problemas das populações pequenas  
(adaptado de SHULTZ *et al.* 1999)

---

### 1. INTRODUÇÃO

Alterações no tamanho de uma população ao longo do tempo podem ter várias consequências, dependendo da espécie, local e muitos outros factores. Por exemplo, o acentuado aumento das populações de javali nos anos 80 pode ter levado à degradação de alguns habitats. Por outro lado, o número de lince-ibéricos decresceu de tal modo, que muitos biólogos da conservação estão cépticos quanto ao futuro da espécie e acreditam que dificilmente se poderá evitar sua extinção. As estimativas do crescimento populacional, embora por vezes sejam difíceis de obter, podem ser muito úteis para fazer previsões acerca da abundância futura das populações. A capacidade de prever a abundância futura de uma população é uma componente fundamental para o desenvolvimento de programas de gestão a longo termo, para uma espécie ou local.

### 2. VARIABILIDADE AMBIENTAL E DEMOGRÁFICA

Todas as populações apresentam alguma variabilidade no número dos seus efectivos ao longo do tempo. Se uma população tem uma época de reprodução bem definida, em cada ano, após os nascimentos, a população crescerá em tamanho. Se, pelo contrário, algumas épocas do ano tendem a ser particularmente difíceis em termos ambientais, a população tenderá a decrescer nos meses seguintes. Contudo, alguma da variabilidade não é possível de prever. Não conseguimos antecipar toda a variabilidade na abundância que

observamos numa população. Esta variabilidade imprevisível, que depende do acaso, designa-se por estocasticidade. Os dois tipos de variabilidade devida ao acaso que podem ocorrer numa população são a **estocasticidade demográfica** e a **estocasticidade ambiental**. A primeira corresponde à variação casual da proporção entre os sexos, das taxas de nascimento e das taxas de mortalidade. As populações são formadas por indivíduos que não são exactamente iguais. Assim, pode acontecer que morram ou nasçam mais ou menos indivíduos do que seria expectável. A variabilidade demográfica ocorre numa população mesmo que o ambiente não se altere. Se as fêmeas duma população com estocasticidade demográfica produzirem em média duas ninhadas por ano, algumas podem não ter nenhuma, algumas podem ter uma e outras podem ter duas, três ou quatro ninhadas. Esta variabilidade é casual.

Um exemplo de estocasticidade demográfica pode ser o que se observou numa população de gorilas da montanha (*Gorilla beringei*). As fêmeas desta espécie reproduzem-se aproximadamente de quatro em quatro anos (têm uma taxa de fecundidade anual de 0.25). Se três das quatro fêmeas de um grupo derem à luz no mesmo ano e a quarta fêmea o fizer no ano seguinte, podem passar três anos até que ocorram novos nascimentos. Tendo em conta a taxa de fecundidade e o número de fêmeas, em termos médios, seria de esperar um parto por ano ( $0.25 \text{ de fecundidade} \times 4 \text{ indivíduos} = 1 \text{ nascimento por ano}$ ). Contudo, como se viu acima podemos ter múltiplos nascimentos num ano, seguidos de várias anos em que não ocorrem partos. Da mesma forma, um número maior de indivíduos pode morrer durante o mesmo ano, devido ao acaso. Ter mais nascimentos ou mortes do que o esperado altera a taxa média de crescimento populacional. Se a população for muito pequena, a variabilidade demográfica pode conduzir a grandes alterações na proporção do efectivo populacional.

Variações imprevisíveis no ambiente, ou estocasticidade ambiental, também provocam alterações na taxa de crescimento populacional ao longo do tempo. Embora algumas das alterações ambientais sejam previsíveis, tal como variabilidade inerente às estações do ano, as variações que se registam entre os diferentes anos tendem a ser menos previsíveis. Precipitação, temperatura, tempestades, humidade e nebulosidade podem variar substancialmente entre os anos. As condições climatéricas podem afectar directamente a quantidade

de alimento disponível em cada ano. Alguns anos podem ser extremamente favoráveis para uma espécie, enquanto outros podem revelar escassez de alimentos, secura, temperaturas extremas ou outras condições adversas para a mesma espécie. Durante os anos maus, as taxas de natalidade podem cair e as taxas de mortalidade tendem a aumentar. Em conjunto, as baixas natalidades e elevadas mortalidades podem levar a um decréscimo substancial do efectivo populacional.

Numa população grande, com uma vasta área de distribuição, os efeitos estocásticos não são, geralmente, muito nefastos. Contudo, se uma população for muito pequena, ou estiver confinada a uma área restrita, a estocasticidade demográfica e ambiental pode conduzir a população à beira da extinção. Uma população grande é geralmente capaz de recuperar de anos maus ou catástrofes porque alguns indivíduos sobrevivem e irão reproduzir-se no futuro. Se 90% de uma população de 3000 indivíduos morrer durante uma catástrofe, ficarão ainda 300 indivíduos para se reproduzirem. No entanto, se a mesma catástrofe matar 90% de uma população de 30 indivíduos, só restarão três. Se dois forem machos e o terceiro uma fêmea não-reprodutora, a população extinguir-se-á.

### **3. PERDA DE VARIABILIDADE GENÉTICA**

Outro problema das populações pequenas é a perda de variabilidade genética ao nível individual e populacional. Todos os organismos diplóides apresentam duas cópias do mesmo gene que se designam por alelos. Uma cópia é herdada de cada um dos progenitores. Embora cada alelo contenha informação acerca de uma mesma característica, eles podem não ser iguais. Quando um indivíduo apresenta para um dado *locus* dois alelos distintos, diz-se heterozigótico e possui variabilidade genética. Ter duas cópias de um gene é benéfico se uma das cópias tiver erros ou codificar para uma variação da característica que coloca problemas em termos de sobrevivência. Cada organismo tem pelo menos alguns alelos que não funcionam bem ou são nefastos, mas porque há dois alelos para cada gene, existe uma elevada probabilidade que um deles funcione bem e compense os efeitos nefastos do

outro. Considere um organismo com um gene que define a resistência a uma dada doença. Se o indivíduo tem um alelo não-funcional e outro que codifica correctamente a resistência à doença, ele não será susceptível de adoecer. Contudo, se um indivíduo tem dois alelos do mesmo gene que são nefastos, haverá um decréscimo do “fitness” individual.

As populações também apresentam variabilidade genética. Esta variabilidade ocorre quando indivíduos na mesma população têm diferentes conteúdos genéticos (genótipos). A variabilidade genética ajuda as populações a sobreviverem e adaptarem-se a ambientes que se alteram.

Um gene pode ser benéfico numa situação, enquanto outro pode ser melhor numa segunda situação. Se uma população é geneticamente diversa, é mais provável que alguns indivíduos possuam os genes necessários para se adaptarem a alterações no seu ambiente. A população, como um todo, terá então um menor risco de extinção. Uma população sem variabilidade genética terá menor probabilidade de sobreviver a alterações ambientais drásticas porque todos os indivíduos serão igualmente susceptíveis. Por exemplo, os geneticistas temem que a falta de variabilidade genética nas populações de chitas as torne particularmente vulneráveis a doenças introduzidas como a leucemia dos felinos.

As pequenas populações tendem a perder variabilidade genética ao longo do tempo. Esta perda de variabilidade deve-se frequentemente à consanguinidade. Se uma população for muito pequena, não há muitos parceiros disponíveis por onde escolher. Eventualmente, os indivíduos acasalam com outros com os quais apresentam algum grau de parentesco. Quando mais parentados são os indivíduos, maior é a proporção de genes idênticos que partilham. Se dois indivíduos com os mesmos genes se cruzarem, os seus descendentes podem herdar dois alelos iguais. O indivíduo terá menos hipóteses de sobrevivência se se tratar de dois alelos inferiores. À medida que a população se torna menor, torna-se mais provável que os indivíduos herdem cópias iguais de um gene particular. Em populações com elevado nível de consanguinidade muitos indivíduos têm cópias idênticas de genes nefastos, o que resulta, frequentemente, numa redução da fertilidade e em descendentes pouco saudáveis. Por exemplo, em leões e chitas, existe alguma evidência de que a consanguinidade levou a um decréscimo da fertilidade dos machos. Os

problemas associados à baixa diversidade genética devida à consanguinidade designam-se por depressão de consanguinidade ("inbreeding depression").

O risco de extinção de populações pequenas pode, portanto, ser afectado pela saúde genética das populações. Para conservar a longo prazo a viabilidade da população, é necessário assegurar que existem indivíduos suficientes que a protejam da perda de variabilidade genética. Se uma população está abaixo do limiar necessário para manter a sua variabilidade genética, o "fitness" dos indivíduos, na população já de si pequena tende a decrescer. Com baixas fecundidades e/ou elevadas mortalidades, será muito mais difícil a recuperação das populações pequenas.

Para maximizar a variabilidade genética das populações, os jardins zoológicos e organizações conservacionistas organizaram bancos de genes. Para algumas espécies cuja sobrevivência na natureza depende de programas de reintrodução baseados em animais em cativeiro, os gestores das reservas e dos jardins zoológicos mantêm registo de todos os animais e planificam cruzamentos entre animais com menor grau de parentesco (geralmente com locais de origem distintos). Por vezes estes programas implicam a inseminação de animais em cativeiro com esperma de animais selvagens; outras vezes implicam deslocações a grandes distâncias de animais entre jardins zoológicos para que se consiga o melhor par possível de animais.

#### 4. VÓRTICES DE EXTINÇÃO E EFEITO DE ALLEE

Outro factor que pode empurrar as populações até à extinção é o efeito de Allee. Quando as densidades populacionais são muito baixas, os indivíduos podem contactar pouco com os outros indivíduos da população. Pode, portanto ser difícil encontrar parceiros para acasalar, o que conduz a um decréscimo da taxa reprodutora com o consequente declínio do crescimento populacional. Embora a evidência do efeito de Allee seja limitada, este deverá afectar, sobretudo espécies onde os indivíduos vivem em baixas densidades, tais como alguns animais oceânicos como as baleias e os espadartes.

Quando uma população se torna demasiado pequena para se manter, pode entrar num **vórtice de extinção**. Este é como um remoinho de água ou buraco negro em que à medida que se é puxado para o seu centro se torna

mais e mais difícil escapar. Para populações, o centro do vórtice é a extinção ou efectivo populacional igual a zero. Populações muito pequenas podem não poder evitar ser puxadas para a extinção.

À medida que a população decresce abaixo de um limiar crítico, torna-se demasiado sensível à estocasticidade demográfica e ambiental para poder manter números estáveis. Os efeitos acrescidos da “depressão de consanguinidade” e do efeito de Allee podem levar a uma diminuição do número de efectivos, até à extinção. Muitas populações isoladas e pequenas podem já ter entrado neste vórtice de extinção. Populações que se encontram nesta espiral decrescente não conseguem alterar o seu rumo sem interferência exterior e gestão.

Quão grande deve uma população para se poder manter a si própria e evitar os problemas que afectam as populações pequenas? Esta é uma questão difícil, sem respostas claras, mas provavelmente varia de espécie para espécie. Alguns investigadores especulam que as populações, para persistirem a longo prazo devem ter, pelo menos, entre 1000 e 10000 indivíduos; outros estimam que as populações devem ter 100000 indivíduos ou mais, para persistirem indefinidamente.

## 5. ANÁLISE DE VIABILIDADE POPULACIONAL

Se uma população está em risco é importante tentar saber qual a probabilidade de extinção da mesma, num futuro próximo. Uma maneira de avaliar a longo prazo a sustentabilidade da população é realizar uma **análise de viabilidade populacional** (AVP). A AVP é um modelo usado para prever a probabilidade de uma população decrescer ou de se vir a extinguir. Se for improvável que uma população sobreviva na sua condição actual, a AVP pode ser usada para determinar quais os aspectos da população que serão mais sensíveis aos esforços de conservação. Poderemos explorar métodos que ajudam no incremento do efectivo populacional, da taxa de crescimento ou da qualidade do habitat para aumentar a probabilidade de sobrevivência de população.

Uma das estimativas mais importantes que se tenta obter na análise de viabilidade populacional é a **população mínima viável** (PMV), ou seja, o

número mínimo de indivíduos necessário para a persistência, a longo prazo, da população. Se o efectivo populacional cai abaixo do PMV, a população pode entrar num vórtice de extinção. Os biólogos da conservação estão bastante preocupados em estimar a PMV. Se num dado momento a população está abaixo deste número, provavelmente será necessário interferir e tentar aumentar o efectivo populacional.

Numa análise de viabilidade populacional, fazem-se muitas simulações para prever a taxa de crescimento futura da população. Depois de completar estas simulações, calcula-se uma abundância média final (soma da abundância final em cada um dos ensaios/número de ensaios). Também se calcula um desvio padrão que corresponde a uma medida da variabilidade registada nos resultados das várias simulações. Um desvio padrão elevado indica que os resultados de cada simulação são bastante diferentes ou variáveis. Um desvio padrão pequeno significa que os resultados de cada simulação são mais semelhantes entre si. Se o desvio padrão for pequeno podemos ter mais confiança nos nossos resultados e prever melhor o destino final da população. O desvio padrão, nos gráficos do RAMAS Ecolab é apresentado como barras de erro. Nos gráficos que iremos realizar, nota-se que à medida que o tempo de simulação aumenta os resultados das simulações são menos precisos.

## 6. AS POPULAÇÕES DE URSOS CASTANHOS AMERICANOS

O urso-pardo-americano (*Ursus arctos horribilis*) é uma subespécie de que ocorre na América do Norte. Em 1998 sobreviviam na parte Continental dos Estados Unidos, menos de 1000 indivíduos, dispersos em quatro populações: Montana, Idaho; Wyoming e Washington. O mapa da Figura 3.1 mostra a localização das populações continentais de urso-castanho, nos EUA. A espécie é, contudo mais comum e apresenta grandes populações no Alasca e no Canadá.

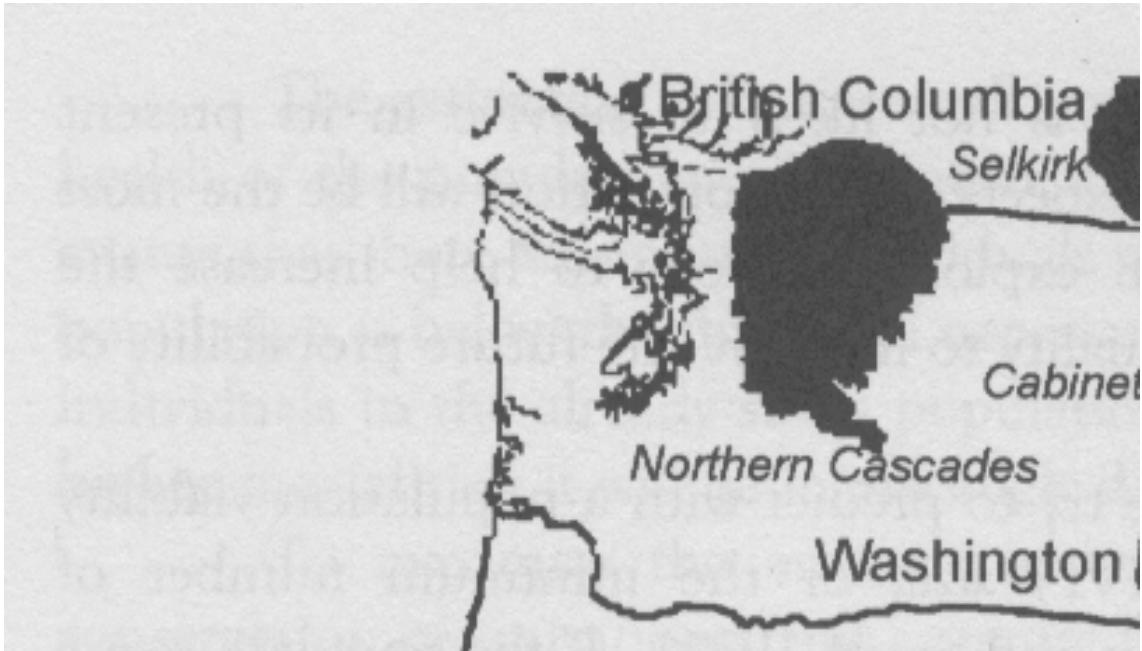


Figura 3.1. Mapa da localização das populações continentais de urso-castanho-americano no nordeste dos EUA.

As 4 populações continentais de urso-castanho não estão ligadas por habitat contínuo. Entre elas existem terrenos agrícolas, cidades, estradas, etc., levando a que o contacto e movimento entre indivíduos das diferentes populações seja muito improvável. Cada população é pequena e, portanto, vulnerável à extinção. No próximo exercício iremos analisar três destas populações.

## 7. EXERCÍCIOS

### 7.1. Viabilidade de várias populações de urso-castanho-americano

Em primeiro lugar iremos analisar a viabilidade das populações de ursos-castanhos do Parque Nacional de Yellowstone, quando a estocasticidade não é considerada.

1. Abra o programa RAMAS Ecolab (face duplo clique sobre o ícone no ecrã)
2. Selecione a opção *Age and Stage Structure*

3. No menu *File*, abra o ficheiro *YellowstoneGrizzly.st*. Este ficheiro contém uma matriz estruturada por idades da população de ursos castanhos baseada em dados do "United States Fish and Wildlife Service". Cada classe de idade corresponde a um período de 3 anos.
4. No menu *Model*, seleccione *General Information*. Note que a *Duration* está definida para 20, o que significa que o programa irá considerar 20 intervalos de tempo. Na simulação, cada intervalo de tempo corresponde também a 3 anos.
5. Ainda na janela *General information*, note que o número de replicações está definido para 1. Portanto, correrá apenas uma simulação para observar a evolução esperada do efectivo populacional da população de ursos-castanhos em Yellowstone, ao longo do tempo. Confirme que a caixa *Use demographic stochasticity* não está seleccionada. Faça *OK* para sair desta janela.
6. No menu *Model* seleccione *Initial Abundances*. Note a distribuição da estrutura etária da população. As classes mais jovens (idades 0-2) têm muito mais indivíduos que todas as outras porque nem todos os indivíduos sobrevivem até à maturidade. Faça *cancel* para sair desta janela.
7. No menu *Model* selecciona *Stage Matrix*. Inspecione a matriz e note que as fecundidades para as classes de meia-idade são mais elevadas que as dos jovens e dos adultos mais velhos. Faça *cancel* para sair desta janela.
8. Para correr simulação, no menu *Simulation* seleccione *Run*. No canto inferior direito desta janela aparecerá uma mensagem quando a simulação estiver completa. Nessa ocasião pode fechar a janela.
9. No menu *Results*, seleccione *Trajectory Summary*. Aqui pode observar a curva de crescimento populacional. A escala temporal, tal como nas classes etárias, é de 3 anos, por intervalo de tempo.
10. Pode observar os valores correspondentes ao gráfico se carregar no botão *Show Numbers*, no topo esquerdo da janela *Trajectory Summary*. Pode voltar ao gráfico se pressionar o botão *Show Plot*, que se encontra também no topo esquerdo da janela *Trajectory Summary*. Feche a janela *Trajectory Summary*.

Nos passos seguintes irá observar como a estocasticidade demográfica afecta a crescimento e a viabilidade populacional ao longo do tempo.

11. No menu *Model*, seleccione *General Information*. Seleccione a caixa *Use demographic stochasticity*. Faça *OK*.
12. Para correr a simulação, no menu *Simulation* seleccione *Run*. Quando a simulação estiver completa feche esta janela.
13. No menu *Results*, seleccione *Trajectory Summary*, para observar a curva de crescimento populacional.
14. Pode observar os valores correspondentes ao gráfico se carregar no botão *Show Numbers*, no topo esquerdo da janela *Trajectory Summary*. Observe os resultados numéricos e registe na tabela 3.I o valor mais baixo e o valor mais elevado que encontrou na coluna de abundâncias médias, para o conjunto de todos os intervalos de tempo. Note que, porque realizámos apenas uma replicação, os valores máximos e mínimos, em cada intervalo de tempo, são iguais. Pode voltar ao gráfico se pressionar o botão *Show Plot*, que se encontra também no topo esquerdo da janela *Trajectory Summary*. Feche a janela *Trajectory Summary*. Repita a simulação 10 vezes registando na tabela 3.I os valores mais altos e mais baixos de abundâncias médias observados em cada simulação.

No exercício que se segue será estudado o efeito da abundância inicial e da estocasticidade demográfica no modelo de viabilidade das populações. Serão examinadas duas outras populações de urso-castanho, a do Northern Continental Divide e a do Cabinet-Yaak.

15. Abra o ficheiro *NCDEGrizzly.st*. Repita os passos 11 a 14 e preencha a tabela 3.II para esta população.
16. Abra o ficheiro *Cab-YaakGrizzly.st*. Repita os passos 11 a 14 e preencha a tabela 3.III para esta população.

17. Para cada população, registe o número de simulações (na coluna valor mínimo) em que o efectivo populacional decresceu até zero, abaixo ou igual a 5 e abaixo ou igual a 20. Registe os valores na tabela 3.IV.
18. Divida aqueles valores pelo número total de simulações (10) para calcular a probabilidade de o efectivo populacional cair para um determinado nível. Registe os valores na tabela 3.IV.

Tabela 3.I. Resultados para a população de ursos-castanhos de Yellowstone.

Simulação	Abundâncias Médias	
	Valor mínimo	Valor máximo
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Tabela 3.II. Resultados para a população de ursos-castanhos de North Continental Divide (NCDE).

Simulação	Abundâncias Médias	
	Valor mínimo	Valor máximo
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Tabela 3.III. Resultados para a população de ursos-castanhos de Cabinet-Yaak.

Simulação	Abundâncias Médias	
	Valor mínimo	Valor máximo
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Tabela 3.IV. Sumário dos resultados para as três populações de ursos.

<b>População</b>	<b>Abundância Inicial</b>	<b>Número de simulações com abundância de:</b>			<b>Proporção de simulações com abundância de:</b>		
		<b>0</b>	<b><math>\leq 5</math></b>	<b><math>\leq 20</math></b>	<b>0</b>	<b><math>\leq 5</math></b>	<b><math>\leq 20</math></b>
Yellowstone	62						
NCDE	24						
Cabinet-Yaak	5						

### Questões

- I. Qual o efeito que o efectivo populacional inicial tem sobre a probabilidade de a população cair abaixo de um determinado nível?
- II. No modelo usado, a população não cresce na ausência de estocasticidade demográfica. Se a população estivesse a crescer a estocasticidade demográfica ainda seria importante?
- III. Nas simulações que efectuou, só teve em conta a estocasticidade demográfica. Quais as condições ambientais que podem afectar a população de ursos-castanhos-americanos?
- IV. Pode minimizar a estocasticidade demográfica e ambiental? Como? Pense em diferentes medidas de gestão que ajudem a manter estas populações estáveis.

### 7.2. Simulações múltiplas

1. Abra o ficheiro *YellowstoneGrizzly.st*.
2. Selecione *General Information*, no menu *Model*. Altere o número de replicações para 50. Certifique-se que a caixa *Use Demographic Stochasticity* está seleccionada.
3. No menu *Simulation* escolha *Run*.

4. No menu *Results* seleccione a opção *Trajectory Summary*. O programa fornece um sumário de todas as simulações. A linha representa o valor médio de todas as simulações; as barras verticais correspondem ao desvio padrão e os símbolos vermelhos aos valores máximos e mínimos em cada uma das simulações.
5. Pode observar os valores correspondentes ao gráfico se carregar no botão *Show Numbers*, no topo esquerdo da janela *Trajectory Summary*.

### Questões

- I. Nos primeiros exercícios (7.1) realizou simulações com um único replicado e registou o resultado. Que informação adicional tinha nos primeiros exercícios que não está disponível quando considera as replicações múltiplas, conjuntamente?
- II. Se está a perder informação quando realiza as simulações com as replicações múltiplas consideradas conjuntamente, qual a vantagem de realizar este tipo de exercício? Tem mais confiança nos resultados quando tem dez replicados ou quando tem cinquenta?

## 8. REFERÊNCIAS

Shultz, S.M.; Dunham, A.E.; Root, K.V.; Soucy, S.L.; Carroll, S.D. & Ginzburg, L.R. 1999. **Conservation Biology with RAMAS® EcoLab**. Sinauer Associates.

# BIOLOGIA DA CONSERVAÇÃO

## AULAS PRÁTICAS

**4.ª UNIDADE PEDAGÓGICA:** Os riscos enfrentados pelas espécies ameaçadas (adaptado de SHULTZ *et al.* 1999)

---

### 1. INTRODUÇÃO

Uma das maiores preocupações da biologia da conservação é a protecção de espécies *Ameaçadas*. Estas são espécies cujo efectivo populacional ou taxas de declínio da população sugerem que a espécie, provavelmente, se extinguirá num futuro próximo se os factores negativos que actuam sobre ela continuarem a verificar-se. Muitos projectos de conservação têm por principal objectivo tentar salvar espécies ameaçadas. Lidar com espécies problemáticas quando as suas populações já declinaram abaixo de um nível crítico, em vez de preservar ecossistemas ou habitats, é uma solução reactiva a uma crise declarada, e não preventiva de futuras crises. Esta última aproximação é a desejável, sendo em geral mais económica e eficaz. Contudo, actualmente o número de espécies ameaçadas é de tal modo elevado que sobra pouco tempo para programar medidas preventivas. A biologia da conservação funciona, nestes casos, como um mecanismo reparador de uma estrutura frágil e bastante danificada.

### 2. Espécies indicadoras, espécies bandeira e espécies-chave

Muitos projectos de conservação focam-se na protecção de uma ou duas espécies num dado habitat. Este tipo de abordagem designa-se por “conservação de espécies únicas” e pretende, geralmente, assegurar a sobrevivência de espécies ameaçadas. Neste tipo de conservação são frequentemente monitorizados o efectivo populacional, a taxa de crescimento

populacional, a disponibilidade de recursos, a integridade do habitat, os níveis de toxinas e/ou a taxas de dispersão para determinar quais os factores responsáveis pelo declínio. Várias medidas de gestão, iniciativas políticas, reprodução em cativeiro e outras técnicas, são geralmente implementadas para melhorar as perspectivas futuras das populações alvo. Existem várias justificações para este tipo de abordagem.

Uma das razões para nos focarmos na abordagem da espécie única é que o seu declínio pode ser indicador de que algo está mal ou se alterou no seu habitat. Estas espécies indicadoras fornecem uma boa avaliação da qualidade do seu habitat porque são sensíveis a alterações ambientais. Se uma espécie indicadora está estável e não apresenta sinais de declínio populacional, o habitat, provavelmente também apresenta boas condições para as outras espécies menos sensíveis, que nele ocorrem. Os anfíbios são frequentemente usados como espécies indicadoras porque são particularmente sensíveis a toxinas no ambiente e têm uma fase de vida aquática e outra terrestre. Declínios nas populações de anfíbios têm sido associados à chuva ácida, poluição, fragmentação do habitat e depleção de ozono. Espécies com necessidades muito específicas ao nível do habitat ou de recursos constituem geralmente bons bioindicadores. Um decréscimo na abundância destas espécies está frequentemente associado a declínios na qualidade ou disponibilidade de habitat ou de um recurso específico. Espécies que revelem alterações nas comunidades através de alterações na sua dieta, área de distribuição ou densidade populacional, mesmo que não sejam tão sensíveis como algumas outras que possam ser mais difíceis de monitorizar, também podem ser usadas como bioindicadoras. Um exemplo desta situação pode ser um predador cuja dieta reflecte alterações na disponibilidade de presas.

Outra razão para muitos esforços de conservação se focarem em espécies únicas, é que algumas espécies são particularmente importantes para a persistência da comunidade onde se inserem. Estes membros importantes da comunidade designam-se por espécies-chave. Um exemplo pode ser uma espécie da qual muitas outras dependem para se alimentarem, como o coelho-bravo na Península Ibérica. Alguns predadores de topo também funcionam como espécies-chave, pois ao reduzirem a densidade de presas comuns, permitem que co-existam com um maior número de espécies mais raras. Se um

predador-chave for removido da comunidade, a comunidade de presas pode perder a sua estabilidade e as espécies raras podem desaparecer.

A lontra-marinha é um exemplo de uma espécie-chave no Pacífico Norte. As lontras-marinhas alimentam-se de ouriços-do-mar, que por sua vez se alimentam de algas ou “ervas do mar” (“kelp”). No início do século XX, a população de lontras na costa noroeste do EUA declinou acentuadamente e quase se extinguiu. Isto levou ao crescimento das populações de ouriços, o que por sua vez destruiu a florestas de algas. Em resposta ao aumento de presas, a lontra-marinha recuperou algumas regiões e as florestas de algas voltaram a crescer à medida que as populações de ouriço declinavam. Agora as lontras-marinhas enfrentam outra crise. A sobre-pesca no Alasca e Pacífico Norte levou à redução acentuada dos cardumes de peixe que constituíam o principal alimento dos leões-marinhas, o que conduziu a um forte decréscimo destes pinípedes. Os leões-marinhas eram a principal presa das orcas que face à escassez destes, passaram a consumir lontras, levando a um declínio acentuado das suas populações. A redução do número de lontras conduziu ao aumento do número de ouriços o que está a originar, outra vez, o desaparecimento dos tapetes de algas. A ausência da lontra ou do leão-marinho, nesta comunidade altera a estrutura e o balanço de todo o ecossistema e influencia o número de muitas outras espécies. Os biólogos da conservação preocupam-se em identificar os membros mais importantes numa comunidade e tentam assegurar a sua sobrevivência.

A abordagem mono específica também pode ser útil se a espécie em causa requer uma grande área e grande variedade de recursos para sobreviver. Estas espécies designam-se por espécies guarda-chuva porque a sua protecção implica a conservação do habitat e dos recursos de muitas outras espécies que usam as mesmas áreas e recursos. Um exemplo são os lobos de Yellowstone que existem em baixas densidades e requerem grandes áreas de habitat adequado para que as suas populações se mantenham.

Uma quarta razão para os esforços de conservação se focarem numa espécie é a atracção que estas espécies podem exercer no público ou nas instituições financiadoras. Os humanos em geral têm maior simpatia por espécies de grandes dimensões ou espécies consideradas atractivas. É mais fácil mobilizar o apoio popular para a conservação do panda, do que para um

escaravelho ou cobra rara. Estas espécies “simpáticas” e vendáveis designam-se por espécies-bandeira porque conseguem motivar o interesse e apoio do público para a conservação dos habitats. Alguns exemplos destas espécies são o lince-ibérico, o gorila-da-montanha ou a abetarda.

### 3. ESPÉCIES AMEAÇADAS

A União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) desenvolveu um sistema de classificação para avaliar o risco de extinção das espécies. Foram criadas 5 categorias: criticamente em perigo, em perigo, vulnerável, quase ameaçada; pouco preocupante. Espécies **criticamente em perigo** (CR) apresentam um extremamente elevado risco de extinção num futuro próximo. Espécies **em perigo** (EN) apresentam um muito elevado risco de extinção num futuro próximo se a situação não se alterar, embora estejam menos ameaçadas que as criticamente ameaçadas. Espécies **vulneráveis** (VU) têm abundâncias reduzidas e correm o risco de virem a ser classificadas como ameaçadas. Um taxon é classificado como **quase ameaçado** (NT) quando é sujeito a uma avaliação e não é incluído em nenhuma das categorias anteriores, embora estivesse próximo, ou, então, é provável que venha a ser incluído naquelas categorias, num futuro próximo. Uma espécie é considerada de **pouco preocupante** (LC) quando depois de avaliada não é incluído em nenhum das categorias anteriores. Organismos muito abundantes e com uma distribuição ampla são geralmente incluídos nesta categoria. Além disso ainda podemos classificar as espécies como **extinto** (EX) ou **extinto na natureza** (EW), neste último caso quando apenas ocorrem indivíduos em cativeiro. Quando a informação é insuficiente para que se possa avaliar o risco de extinção em qualquer dos critérios propostos, a espécie é classificada com **informação insuficiente** (DD). Um taxon é classificado como **não avaliado** (NE) quando não foi ainda avaliado em relação a nenhum dos critérios.

#### 4. HISTÓRIA DE VIDA E EFECTIVO POPULACIONAL

Existem muitas características que tornam as espécies mais vulneráveis à extinção. Algumas destas características incluem baixas densidades, grandes dimensões corporais e especialização ao nível do habitat. Exemplos de espécies ameaçadas cujas características as tornam mais vulneráveis à extinção são apresentados na tabela 4.I.

Tabela 4.I. Características ecológicas de espécies raras ou vulneráveis à extinção. Adaptado de Miller, 1982 *in* Schultz *et al*, 1999).

Características	Espécies
Grandes dimensões corporais	Elefante-africano; rinocerontes, baleia-azul; urso-castanho
Taxa reprodutora baixa	Gorila-da-montanha; abutre-negro
Especialização (habitat; dieta)	Lince-ibérico; rato de Cabrera; toirão-de-patas-negras; abetarda
Baixa densidade populacional	Tigre de Bengala; leão-africano; jaguar
Área de distribuição reduzida	Muitos lémures; Dragão de Komodo; Zebra de Grevy

Algumas espécies ocorrem sempre em densidades muito baixas. Estas espécies são consideradas raras. Algumas espécies são naturalmente raras. A raridade, em si mesma, não é considerada uma característica nefasta para espécie. Contudo, se combinada com a perda de habitat, a população pode decrescer para níveis perigosamente baixos. Se a espécie consiste apenas num conjunto restrito de populações pequenas, qualquer alteração estocástica pode levar a que toda a população se extinga.

Animais de grandes dimensões e com esperanças de vida longas apresentam, em geral, densidades mais baixas que os animais pequenos. O tamanho de uma área protegida pode, portanto, limitar o efectivo populacional de espécies grandes. Estas espécies precisam de grandes áreas para manter populações viáveis e são mais vulneráveis à extinção se grandes áreas do seu habitat forem destruídas. Em parques pequenos, por vezes temos a noção que estamos a proteger de modo satisfatório as espécies raras e ameaçadas. Estas pequenas populações podem conseguir persistir durante algum tempo, mas devido ao seu tamanho apresentam um elevado risco de extinção. Um ponto

importante a reter é que uma área que pode manter uma população viável de uma espécie pode não ser adequada para outras espécies. Algumas espécies precisam de áreas muito extensas para sobreviverem a longo prazo. A figura 4.1 mostra o número estimado de hienas em reservas de diferentes dimensões na África Oriental. Note que o grande aumento da população de hienas nos parques de maiores dimensões. De uma forma geral, à medida que o efectivo populacional aumenta, o risco de extinção decresce. Assim, é provável que as populações de hienas nos parques de maiores dimensões enfrentem menos situações de extinção.

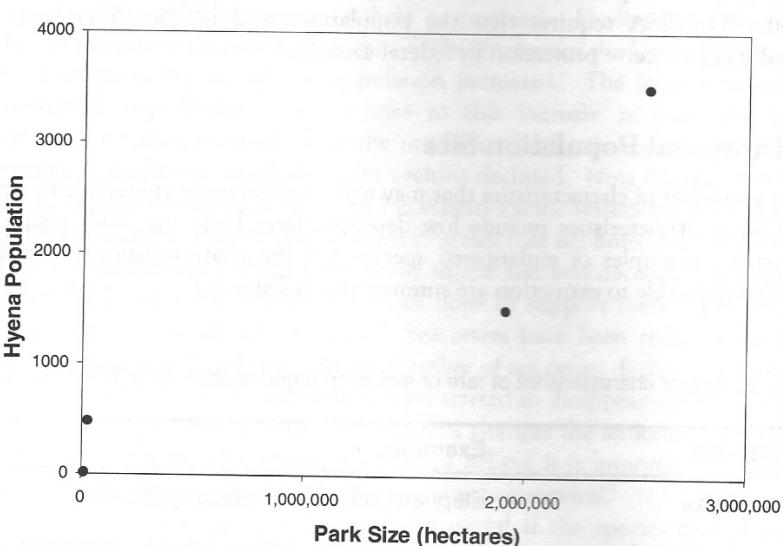


Figura 4.1. Estimativa da população de hienas em função da área dos parques.

Algumas espécies são encontradas apenas numa área geográfica muito restrita. Muitas espécies de ilhas são endémicas. A abundância de espécies com necessidades muito específicas depende da abundância dos recursos em que são especialistas. Por exemplo, muitas aves raras como a cegonha-negra ou a águia-real estão limitadas pela disponibilidade de locais de nidificação. Os predadores também tendem a ocorrer em menores densidades porque são limitados pela quantidade de presas disponíveis. Leões, lobos, tigres e hienas ocorrem em densidades muito baixas, quando comparado com a densidade das suas presas principais. O lince-ibérico constitui um bom exemplo dos problemas associados a espécies com áreas vitais extensas e densidades baixas. À medida

que o seu habitat e a disponibilidade de presas em que é especialista (coelho-bravo) decrescem, os linceis são forçados a dispersar, atravessando estradas e habitats inóspitos, para encontrar novas áreas que proporcionem refúgio, alimento e onde possam cruzar com outros parceiros. Como resultado, a mortalidade devida a acidentes aumentou bastante nos últimos anos.

## 5. AMEAÇAS ÀS ESPÉCIES EM EXTINÇÃO

As principais razões para que muitas espécies estejam ameaçadas são a destruição e fragmentação do habitat, a sobre-exploração e a introdução de espécies exóticas.

A sobre-exploração devida à caça ou colheita na natureza tem um impacte significativo nas espécies raras. Frequentemente, o furtivismo continua a fazer vítimas mesmo depois das espécies terem sido identificadas como estando ameaçadas de extinção. Cerca de 30 % das espécies ameaçadas são afectadas por sobre-exploração ou caça ilegal. Para algumas espécies, como os primatas da África Ocidental, a caça furtiva constitui uma ameaça mais séria que a destruição do habitat. Muitos stocks de peixe continuam a diminuir porque, frequentemente não é possível regular a pesca em águas internacionais. A caça e exploração dos recursos naturais aumentam à medida que o acesso a regiões previamente remotas é promovido pela construção de novas estradas ou pela desflorestação.

Um subproduto do desenvolvimento humano é a introdução de novas espécies em ambientes sensíveis. Por vezes estas espécies são competitivamente superiores às espécies nativas ou são predadores das mesmas. As novas espécies também podem ser portadoras de organismos patogénicos para os quais as espécies nativas não desenvolveram resistência. Em cada uma destas situações a introdução de espécies exóticas constitui um factor deletério para as populações e comunidades autóctones.

## 6. OS PANDAS-GIGANTES NA CHINA

Os pandas-gigantes encontram-se nas montanhas da China. A área de distribuição e o tamanho populacional decresceram dramaticamente devido à

fragmentação do habitat e à desflorestação. A figura 4.2 mostra a distribuição actual e o registo fóssil (evidencia da sua distribuição prévia) do panda-gigante.

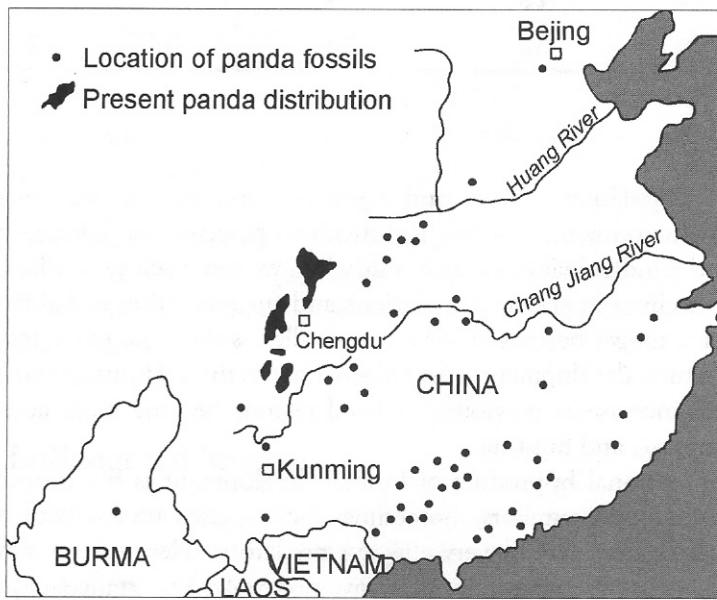


Figura 4.2. Localização das populações actuais e dos registos fósseis de panda-gigante (Roberts, 1988 in Shultz *et al*, 1999)

A população actual está dividida em várias subpopulações isoladas geograficamente.

Os pandas-gigantes estão sujeitos a várias ameaças. São totalmente dependentes de bambu como fonte de alimento, o que os torna muito vulneráveis a fenómenos estocásticos. O bambu reproduz-se de um modo invulgar, florescendo em massa (todos os indivíduos da espécie produzem flores e sementes ao mesmo tempo) e depois os adultos morrem. Pode demorar alguns anos até que novos rebentos apareçam. Os pandas também se reproduzem de modo invulgar, apresentando taxas de natalidade muito reduzidas e cuidados parentais muito prolongados. Os pandas ocorrem em áreas onde os recursos florestais são abundantes e correm o risco de perder o seu habitat à medida que estas florestas são cortadas. Todos estes factores,

acrescidos do furtivismo, contribuem para o estado actual de ameaça do panda-gigante.

O governo chinês desenvolveu algumas directrizes para a conservação do panda e promoveu a instalação de áreas protegidas nalgumas regiões da sua ocorrência, mas o aumento populacional na China continua a ameaçar esta espécie. Mesmo que a destruição do habitat parasse totalmente, as populações continuariam ameaçadas devido ao abate ilegal. Os caçadores caçam os pandas pelas suas peles que vendem no mercado negro a preços elevados. Apesar disso, os dados mais recentes sugerem que existe um ligeiro incremento dos efectivos populacionais. Contudo, porque o habitat disponível é muito escasso os novos indivíduos não têm para onde ir quando atingem a maturidade. No exercício seguinte, vamos analisar o efeito da dependência da densidade e da estocasticidade demográfica na viabilidade da pequena população de pandas do Vale Shuidonggou. Iremos também observar o efeito do furtivismo, ainda que a pequena escala, na população.

## 7. EXERCÍCIOS

### 7.1. Crescimento populacional do Panda-Gigante.

Neste exercício analisaremos o crescimento populacional e a estabilidade da população de pandas. Pretende-se estudar o efeito da capacidade de suporte do meio e da estocasticidade demográfica na estabilidade da população ao longo do tempo.

11. Abra o programa RAMAS Ecolab (face duplo clique sobre o ícone no ecrã)
12. Selecione a opção *Age and Stage Structure*
13. No menu *File*, abra o ficheiro *GiantPanda.st*. Este ficheiro contém uma matriz estruturada por idades da população de pandas.
14. No menu *Model*, seleccione *General Information*. Note que a *Duration* está definida para 40, o que significa que o programa irá considerar 40 intervalos de tempo. Na simulação, cada intervalo de tempo corresponde a 3 anos.

15. No menu *Model* seleccione *Initial Abundances*. Note a distribuição da estrutura etária da população. Neste modelo a população está dividida em 6 classes de idade de 3 anos cada (0-2; 3-5; 6-8; 9-11; 12-14; 14+). Faça *cancel* para sair desta janela.
16. Para correr simulação, no menu *Simulation* seleccione *Run*. No canto inferior direito desta janela aparecerá uma mensagem quando a simulação estiver completa. Nessa ocasião pode fechar a janela.
17. No menu *Results*, seleccione *Trajectory Summary*. Aqui pode observar a curva de crescimento populacional. A escala temporal, tal como nas classes etárias, é de 3 anos, por intervalo de tempo.
18. Pode observar os valores correspondentes ao gráfico se carregar no botão *Show Numbers*, no topo esquerdo da janela *Trajectory Summary*. Pode voltar ao gráfico se pressionar o botão *Show Plot*, que se encontra também no topo esquerdo da janela *Trajectory Summary*. Feche a janela *Trajectory Summary*.

## Densidade Populacional

Agora vamos introduzir a dependência da densidade ao modelo inicial. Os biólogos acreditam que nesta população o habitat remanescente já suporta o número máximo de pandas. Assim, os novos indivíduos adicionados à população ou irão substituir indivíduos que morreram, ou são forçados a abandonar a área, ou morrem. No programa vamos utilizar a dependência da densidade tipo “contest” o que significa que alguns indivíduos “ganham” acesso a um território e recursos, enquanto que os indivíduos em excesso têm a sua sobrevivência e reprodução diminuídas.

1. No menu *Model*, seleccione *Density Dependence*. Mude o tipo de *Density Dependence* de *Exponential* para *Contest*.
2. Para correr simulação, no menu *Simulation* seleccione *Run*. No canto inferior direito desta janela aparecerá uma mensagem quando a simulação estiver completa. Nessa ocasião pode fechar a janela.

3. No menu *Results*, seleccione *Trajectory Summary*. Aqui pode observar a curva de crescimento populacional. A escala temporal, tal como nas classes etárias, é de 3 anos, por intervalo de tempo.
4. Pode observar os valores correspondentes ao gráfico se carregar no botão *Show Numbers*, no topo esquerdo da janela *Trajectory Summary*. Pode voltar ao gráfico se pressionar o botão *Show Plot*, que se encontra também no topo esquerdo da janela *Trajectory Summary*. Feche a janela *Trajectory Summary*.
5. Na tabela 4.II registe a abundância média (*Average Abundance*) da população no final do tempo da simulação.
6. Repita a simulação 10 vezes e registe os valores de cada simulação na tabela 4.II.

Tabela 4.II. Abundância das populações de Panda

Simulação	Abundância
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

## Questões

- I. Descreva o aspecto da trajectória da população antes e depois de ser adicionada a dependência da densidade.
- II. Precisamos de nos preocupar com estocasticidade demográfica ou ambiental na população em estudo? Justifique a sua resposta.
- III. Usando os dados da tabela 4.II, quantos replicados apresentam um valor final superior à abundância inicial? Quantos apresentam uma abundância final inferior? Como é que a dependência da densidade afecta o tamanho máximo da população?
- IV. Como é que a dependência da densidade afecta, a longo prazo, a sobrevivência da população?

## 7.2. O impacte do furtivismo nos pandas

A caça ilegal é um factor de risco em populações pequenas de espécies ameaçadas. O abate de pandas para obter peles, é cada vez mais comum apesar das pesadas penas associadas a este tipo de crimes. Qualquer impacte negativo na população irá contrabalançar a taxa de crescimento positiva empurrando-a para o declínio. Neste exercício iremos observar o efeito de diferentes intensidades de caça ilegal na evolução do efectivo populacional.

6. No menu *Model*, seleccione *General Information*. Certifique-se que a caixa *Use Demographic Stochasticity* está seleccionada.
7. No menu *Model*, seleccione *Density Dependence*. Escolha *Contest* para o tipo de densidade a ser usado. Em *Max growth rate* introduza o valor 1.05 e na *Carrying capacity* use o valor 20.
8. No menu *Model* seleccione *Management and Migration*. Surgirão 5 opções na caixa no lado esquerdo do ecrã. Cada opção corresponde ao número de indivíduos a ser removido, em cada intervalo de tempo, por classe de idade (as classes de idade aparecem por ordem crescente).

9. Seleccione cada opção e remova a opção *Ignore this action* do topo do ecrã. O comentário *ignored*, ao lado de cada opção deverá desaparecer e o modelo irá remover um indivíduo de cada uma das classes de idade em cada intervalo de tempo.
10. Para correr simulação, no menu *Simulation* seleccione *Run*.
11. No menu *Results*, seleccione *Trajectory Summary*. Aqui pode observar a curva de crescimento populacional.
12. Pode observar os valores correspondentes ao gráfico se carregar no botão *Show Numbers*, no topo esquerdo da janela *Trajectory Summary*.
13. Feche a janela *Trajectory Summary* e no menu *Results* escolha *Extinction/Decline*. Pode observar os valores carregando no botão *Show Numbers*. Registe na tabela 4.III a probabilidade de extinção no final de da simulação e o tempo em que ocorreu esta extinção. Repita este procedimento 5 vezes.
14. No menu *Model* escolha *Management & Migration*. Seleccione a segunda opção *Harvest/Emigration* e escolha *Ignore this option*. Repita este procedimento para a quarta opção de *Harvest/Emigration*. Nesta simulação iremos, portanto, remover um indivíduo apenas em três classes etárias.
15. Repita os passos 10 a 13.
16. Seleccione a primeira opção *Harvest/Emigration* e escolha *Ignore this option*. Repita este procedimento para a quinta opção de *Harvest/Emigration*.
17. Repita os passos 10 a 13.
18. Calcule o tempo médio de extinção para cada nível de caça ilegal.

Tabela 4.III. Efeito do abate ilegal na população de pandas.

<b>Abate ilegal de 1 indivíduo por classe de idade</b>		
<b>Simulação</b>	<b>Probabilidade de Extinção</b>	<b>Tempo de extinção</b>
1		
2		
3		
4		
5		
Média		
<b>Abate ilegal de 1 indivíduo nas classes de idade 1, 3 e 5</b>		
<b>Simulação</b>	<b>Probabilidade de Extinção</b>	<b>Tempo de extinção</b>
1		
2		
3		
4		
5		
Média		
<b>Abate ilegal de 1 indivíduo em toda a população</b>		
<b>Simulação</b>	<b>Probabilidade de Extinção</b>	
<b>Simulação</b>	<b>Probabilidade de Extinção</b>	<b>Tempo de extinção</b>
1		
2		
3		
4		
5		
Média		

## Questões

- V. O abate ilegal tem um efeito significativo na sobrevivência da população?

VI. Acha que a população pode suportar algum nível de abate ilegal?

VII. Tendo em atenção o que aprendeu sobre o panda gigante e as ameaças que o afectam, o que recomendaria para assegurar a sua sobrevivência a longo prazo?

## 8. REFERÊNCIAS

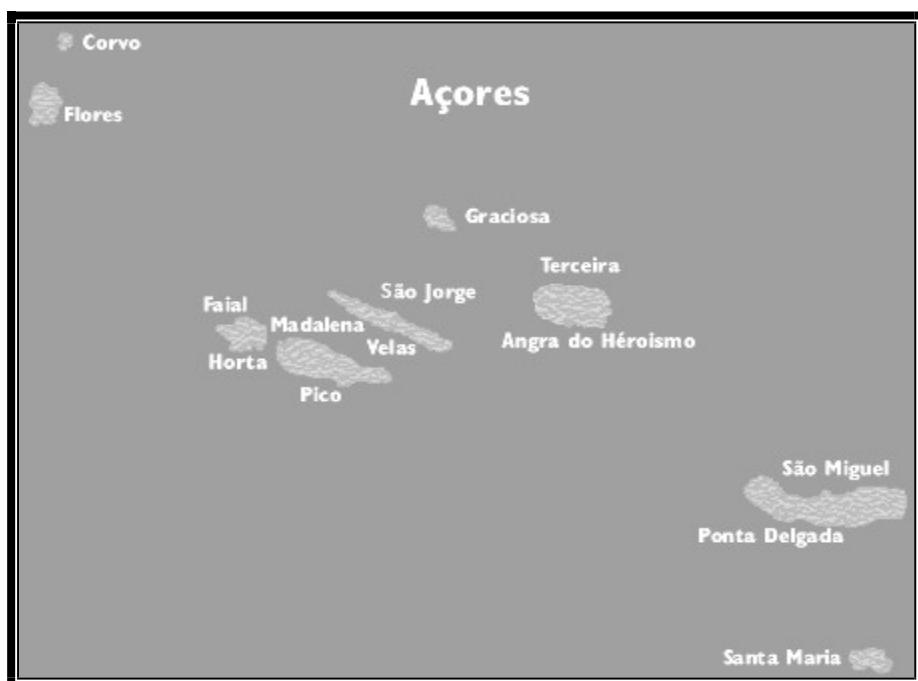
Shultz, S.M.; Dunham, A.E.; Root, K.V.; Soucy, S.L.; Carroll, S.D. & Ginzburg, L.R. 1999. **Conservation Biology with RAMAS® EcoLab**. Sinauer Associates.

# BIOLOGIA DA CONSERVAÇÃO

## AULAS PRÁTICAS

**5.ª UNIDADE PEDAGÓGICA:** Dimensão de áreas protegidas e diversidade específica – o exemplo das ilhas (adaptado de SHULTZ *et al.*, 1999)

*A biogeografia insular é uma importante área de estudo que pode fornecer pistas para a conservação. Muitas das áreas naturais actualmente existentes na Terra são "ilhas" no meio de habitats inadequados. À medida que estas áreas protegidas diminuem de superfície, o número de espécies que persistem tende a diminuir. Nesta aula irá conhecer as previsões da teoria da biogeografia insular e quais as suas implicações para a proteção da biodiversidade.*

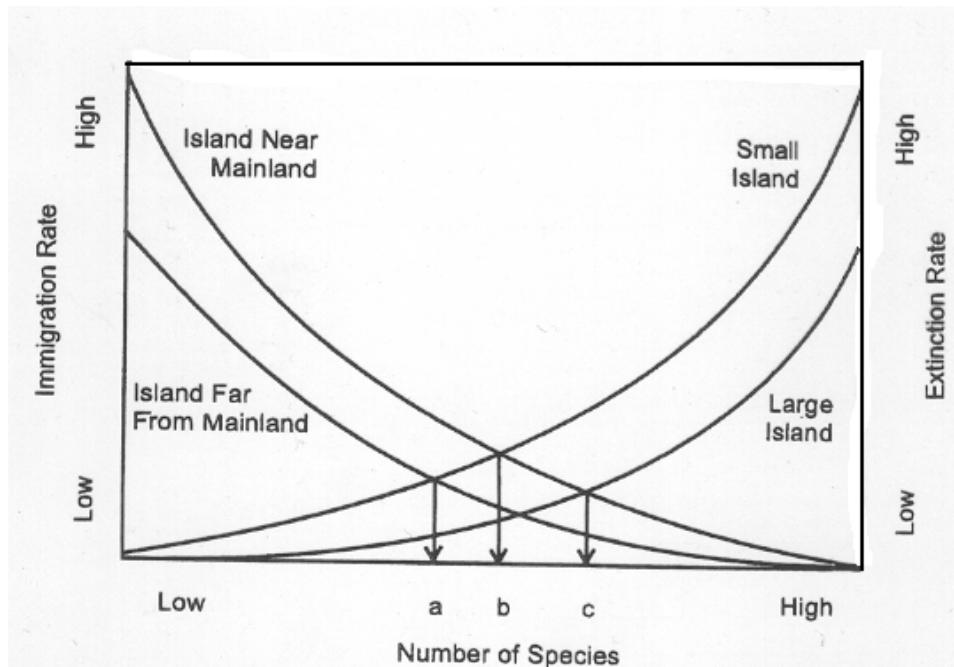


### 1. INTRODUÇÃO

Nos anos sessenta do século passado os ecólogos Robert MacArthur e Edward O. Wilson apresentaram a *Teoria do Equilíbrio Dinâmico da Biogeografia Insular* (MACARTHUR & WILSON, 1967). Desenvolvida na sua

forma original como um modo de predizer os padrões de composição das comunidades em ilhas, a Teoria da Biogeografia Insular é actualmente utilizada num contexto mais amplo permitindo o estabelecimento de predições acerca da ocorrência de espécies em habitats fragmentados. Genericamente, a teoria de MacArthur e Wilson visa explicar os padrões de composição específica das comunidades existentes em ilhas com diferentes superfícies e a diferentes distâncias do continente mais próximo.

A relação “espécies-superfície” ilustra o modo como a dimensão de uma ilha é directamente proporcional ao n.º de espécies (por grupo taxonómico) existente na ilha. Concomitantemente, quanto maior for a ilha maior será o número de espécies nela existente. MacArthur e Wilson mostraram que esta relação sucede porque nas ilhas de maior dimensão a taxa de extinção de espécies é menor do que em ilhas de menor superfície. Adicionalmente, mostraram que quanto maior a distância a que uma ilha se encontre do continente, maior será o período de tempo necessário para a sua colonização por novas espécies. O balanço entre colonizações e extinções resulta em que distintos tipos de ilhas suportam diferentes números de espécies. Uma ilha grande situada próximo de um continente terá uma elevada colonização e uma reduzida extinção, pelo que possuirá um maior número de espécies do que uma ilha pequena e situada a maior distância do continente. A Fig. 1 ilustra a relação entre as taxas de colonização e extinção em ilhas de acordo com os pressupostos do modelo.



**Figura 1** – O modelo de biogeografia insular descreve a relação entre as taxas de imigração e extinção (adaptado de MACARTHUR & WILSON, 1967; extraído de SHULTZ *et al.*, 1999). As setas assinalam o n.º de espécies previsto em 3 situações: **a** – ilha pequena distante do continente; **b** – ilha pequena próxima do continente; **c** – ilha grande próxima do continente.

Simberloff & Wilson (1970) testaram estas ideias analisando a riqueza específica e a colonização de ilhas de mangal na Florida. Para o efeito, removeram todos os insectos e registaram (1) a taxa de colonização e (2) o n.º final de espécies de insectos em cada ilha. Os seus resultados mostraram que as ilhas de maiores dimensões ou situadas mais próximo do continente continham mais espécies do que as ilhas mais pequenas e mais afastadas do continente.

## 2. SUPERFÍCIE E O NÚMERO DE ESPÉCIES

Usualmente as ilhas apresentam menos espécies e taxas de extinção mais elevadas do que os ambientes continentais mais próximos. A teoria da biogeografia insular permite explicar as diferenças entre o n.º de espécies em ilhas diferentes e entre ilhas e as massas continentais. Adicionalmente, os ecólogos consideram que a teoria da biogeografia insular é aplicável a áreas descontínuas de um qualquer habitat situado nos continentes, pelo que a relação “n.º espécies-superfície” pode ser utilizada para predizer o número de

espécies que podem ocorrer em isolados como por exemplo fragmentos de floresta.

Se uma determinada área natural for protegida e se encontrar rodeada por habitat modificado por práticas agrícolas, desflorestação ou poluição, essa área corresponderá a uma ilha emersa num “mar” hostil. Como exemplo de “ilhas” de habitats temos os parques e jardins em ambiente urbano: estas áreas verdes apresentam não só dimensões diferentes mas também exibem distâncias distintas a áreas não urbanizadas. Outros exemplos de “ilhas” de habitats são os fragmentos de floresta inseridos numa matriz agrícola, pequenos açudes e albufeiras não ligados entre si e pequenas manchas de habitats específicos.

Apesar de o n.º de espécies aumentar com o incremento da superfície de habitat disponível, MACARTHUR & WILSON (1967) notaram que essa relação não é linear. Como regra empírica, em cada aumento de 10x na superfície (*e.g.* de 10 para 100) o número de espécies duplica. A dimensão da área afecta cada ambiente e cada grupo de espécies de modo diferenciado, embora seja possível generalizar a relação “n.º de espécies-superfície” do seguinte modo (ARRHENIUS, 1921):

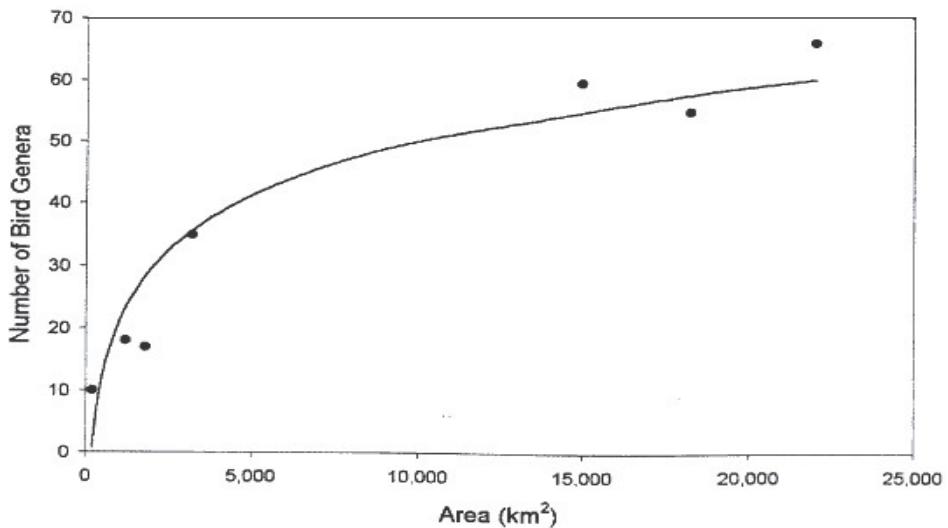
$$S = K \times A^z$$

$$(N.º\ de\ espécies) = (escala\ das\ espécies) \times (superfície\ da\ ilha)^z$$

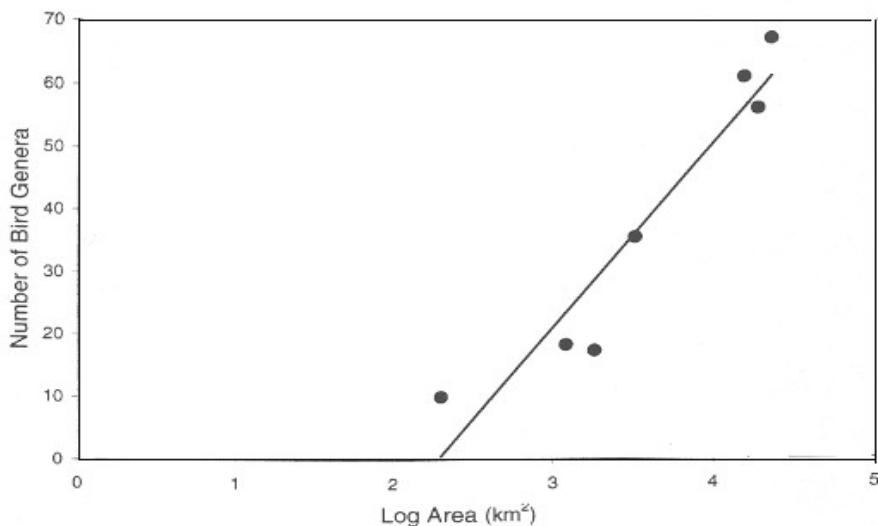
Nesta equação **K** e **z** são constantes; a escala das espécies (**K**) indica quantas espécies são detectadas por área num dado ambiente. A variável **z** representa o modo com a área afecta o n.º de espécies encontrado: quanto maior o valor de **z**, maior o número de espécies que tem de ser adicionado a uma determinada área. A Fig. 2 ilustra um exemplo desta relação utilizando o número de Géneros de aves representados em distintas pequenas ilhas do Pacífico Sul. De notar que o número de Géneros não cresce linearmente à medida que a superfície da ilha aumenta. Se porventura aplicarmos logaritmos a ambos os membros da igualdade:

$$\log S = \log K + z \log A,$$

a equação torna-se linear e a relação é mais fácil de interpretar. Neste caso, **K** corresponde ao ponto em que a recta intercepta o eixo dos *yy* e **z** é o declive da recta. Por vezes, utiliza-se uma aproximação grosseira que consiste em aplicar logaritmos apenas ao valor de **A** (*e.g.* SHULTZ *et al.*, 1999). Desta forma, torna-se mais simples a interpretação da relação “n.º espécies-superfície” (Fig. 3).



**Figura 2** – Diversidade de aves vs. superfície das ilhas (baseado em COX & MOORE, 1993; extraído de SHULTZ *et al.*, 1999).



**Figura 3** – Diversidade avifaunística vs. logaritmo da dimensão das ilhas (baseado em COX & MOORE, 1993; mesmos dados da Fig. 2; extraído de SHULTZ *et al.*, 1999).

### 3. BIOGEOGRAFIA INSULAR E DIMENSÃO DAS RESERVAS

Durante os anos setenta passados, as áreas da ecologia e biologia da conservação assistiram a um debate sobre o modo como aplicar a teoria da biogeografia insular à conservação e à dimensão das reservas. Por um lado, quanto maior for reserva mais elevado é o n.º de espécies que apresenta e, portanto, maior o n.º de espécies que protege. Em 1982, a IUCN analisou todas as áreas protegidas no planeta e verificou que metade das áreas apresentava uma superfície inferior a 100 km<sup>2</sup> e que em c. 98% dos casos a superfície era inferior a 10 000 km<sup>2</sup>. Por outro lado, duas pequenas reservas podem eventualmente proteger mais espécies do que uma grande reserva, desde que cada reserva pequena proteja mais habitats do que uma reserva de maiores dimensões. A este debate deu-se a designação **SLOSS**, acrónimo de *single large or several small* reservas. Como se comprehende, a melhor opção seria ter muitas reservas de grandes dimensões, mas na maior parte das situações tal escolha revela-se impraticável.

Consideremos uma determinada floresta de grandes dimensões e admitamos que pretendíamos designar parte dessa floresta como reserva. Se a

nossa opção for a de nos restringirmos a uma pequena porção de floresta, podendo a restante área vir a ser sujeita, por exemplo, a exploração florestal durante as próximas décadas, como havemos de determinar que áreas e com que padrão se constituirão em reservas?

Por um lado, as reservas de grandes dimensões são necessárias para a protecção de espécies que ocorrem em baixas densidades. Com efeito, várias pequenas reservas podem não ser adequadas para a conservação de espécies que requerem grandes extensões territoriais. Os indivíduos de diversas espécies de aves e mamíferos percorrem regularmente territórios de grandes dimensões em busca de alimento, patrulha e/ou procura de parceiro sexual, sendo que essas áreas vitais são frequentemente demasiado grandes para caberem nos limites de áreas protegidas de pequenas dimensões. Como exemplo, podemos referir que no caso do Puma (*Felis concolor*), espécie que no sul da Califórnia apresenta áreas vitais médias de *c.* 450 km<sup>2</sup> para os machos e 155 km<sup>2</sup> para as fêmeas, as estimativas da UICN em 1982 sugerem que mais de metade dos parques existentes na Terra não seriam suficientemente amplos para poder suportar uma única fêmea da espécie (assumindo que o habitat seria adequado).

A relação “n.º espécies-superfície” prediz que uma área de grandes dimensões deverá manter mais espécies do que uma parcela mais pequena. Mesmo que o número de pequenas parcelas seja muito elevado, se todas apresentarem o mesmo tipo de habitat é provável que o cortejo específico seja composto pelas mesmas espécies e em menor número do que será numa parcela de grandes dimensões. Todavia, se cada uma das pequenas parcelas for composta por diferentes habitats (e portanto contiver diferentes espécies), o total de espécies existentes no conjunto de todas as pequenas parcelas poderá ser muito superior ao existente na parcela de maiores dimensões.

Consideremos o seguinte exemplo: uma dada área natural composta por diversos tipos de habitats mas coberta por floresta temperada na maior parte da sua superfície; adicionalmente existe também uma zona húmida composta por um pequeno açude e paúl onde existem por exemplo alguns anuros raros e

Passeriformes migradores nidificantes; outro tipo de habitat existente é o da estepe cerealífera. Como a floresta corresponde à maior parte da superfície total da área de decidirmos, de modo a que as proteger uma porção de território ampla que contenha mais de 50% da superfície total da área natural, é muito provável que a “área protegida” contenha apenas habitat de floresta. Todavia, com uma plano cuidado a área natural pode ser subdividida em três parcelas mais pequenas de modo a que os diferentes tipos de habitat e a diversidade específica que lhes estão associadas possam ser protegidas.

Outra vantagem em ter muitas pequenas reservas em vez de uma só e de grandes dimensões, reside no facto de que as reservas separadas não serão todas afectadas pelos mesmos acontecimentos destrutivos. Por exemplo, o fogo poderá destruir o habitat de uma pequena parcela mas mais dificilmente alastrará às restantes. Isto não só protege os habitats das restantes reservas como também permite gerar maior variabilidade de habitat (e portanto maior variabilidade específica) entre as reservas. Outro exemplo: as doenças que afectam uma população numa dada área protegida poderão não atacar as populações existentes em parcelas separadas. Com efeito, se protegemos apenas uma só área de grandes dimensões, qualquer acontecimento adverso poderá afectar a totalidade da área e não apenas fracções da mesma.

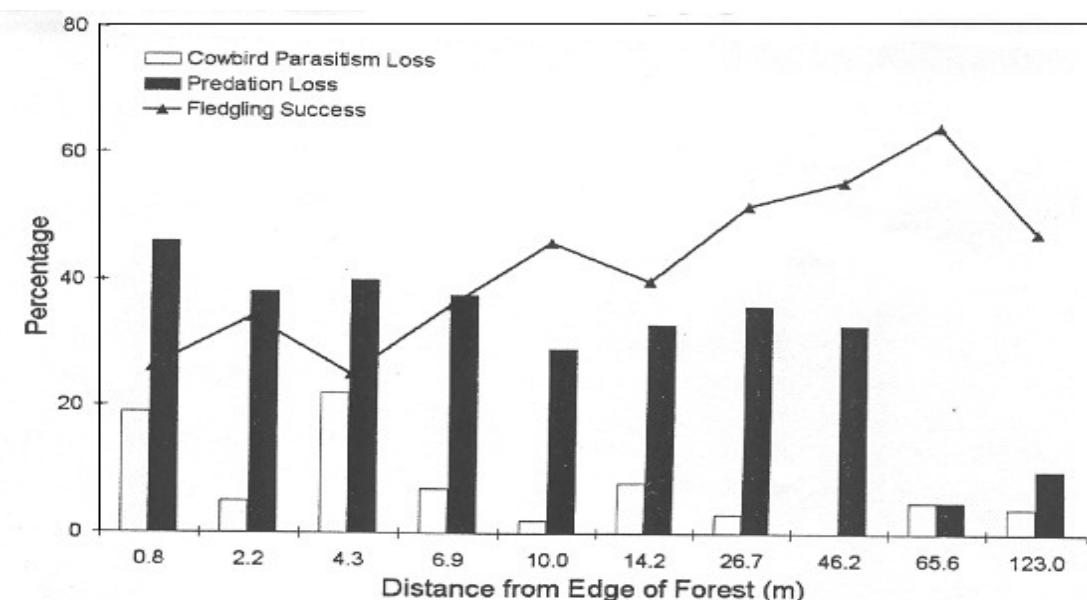
#### 4. FRAGMENTAÇÃO E EFEITOS-DE-ORLA

Quando dividimos um habitat em fragmentos devemos considerar o modo como a fragmentação afecta a qualidade do habitat. Os **efeitos-de-orla** são diferenças na estrutura do habitat e na composição específica que se fazem sentir próximo da fronteira de uma parcela de habitat. Um exemplo comum de efeitos-de-orla é dado pelas herbáceas e arbustos que crescem na fronteira entre uma floresta e um campo agrícola. As espécies associadas às zonas de orla são diferentes das que encontramos no interior (1) da floresta e (2) do campo agrícola.

As espécies animais são frequentemente mais vulneráveis à predação e ao parasitismo de nidificação nas zonas de orla, devido ao facto de existir menor protecção comparativamente com a situação no interior do habitat.

Quanto menor a parcela, mais importantes se revelam os efeitos-de-orla devido ao facto de apresentarem uma razão orla/interior maior.

Em diversas espécies de Passeriformes florestais o sucesso reprodutor é menor na orla das florestas. Predadores oportunistas de ninhos ocorrem em maior número nas situações de orla. Na Fig. 4 está ilustrada a correlação existente entre o aumento do sucesso reprodutor de Passeriformes florestais no Michigan (EUA) e a diminuição nos níveis de predação com a distância à orla.



**Figura 4** – Variação do sucesso reprodutor de Passeriformes nidificantes no Michigan com a distância à orla da floresta e comparação com o nível de predação (extraído de SHULTZ *et al.*, 1999).

Na década de 70 do século passado, Thomas Lovejoy iniciou um projecto a longo termo designado *Minimum Critical Ecosystems Project* (LOVEJOY *et al.*, 1986). Este cientista conseguiu convencer os madeireiros da bacia do Amazonas a deixarem intactas parcelas de floresta equatorial com diferentes dimensões, a fim de tentar determinar o efeito da dimensão da parcela nas abundâncias e diversidade das espécies aí existentes. Com o passar do tempo, os fragmentos de floresta com menores dimensões perderam muitas das espécies inicialmente existentes, os efeitos-de-orla tornaram as parcelas

inadequadas para muitas espécies sensíveis e populações inteiras de aves e macacos extinguiram-se pura e simplesmente de muitas parcelas. Em síntese, este projecto demonstrou que a composição e estrutura das comunidades existentes nos fragmentos de floresta mudaram dramaticamente no período de algumas décadas. Todavia, o efeito a longo termo da reduzida dimensão das parcelas permanece mal conhecido, dada a generalizada ausência de informação sobre as mudanças nos cortejos específicos (*species turnover*) ao longo do tempo.

## 5. APLICAÇÕES EM PLANOS DE CONSERVAÇÃO

No fim de contas, como podemos utilizar a relação “n.º espécies-superfície” e a teoria da biogeografia insular em planos de conservação? Embora a biogeografia insular nos permita estabelecer previsões acerca da estabilidade da riqueza específica quando o habitat surge fragmentado, não nos informa sobre que espécies deverão ser protegidas e que espécies irão previsivelmente ser extintas. Adicionalmente, as características próprias do meio – e não apenas a superfície – podem por vezes fornecer mais informação acerca da estabilidade das populações e espécies. Se porventura o objectivo for a protecção de uma espécie que ocorra apenas em subhabitats, a protecção de todo o habitat existente pode ser mais importante para a sua conservação do que o número de hectares protegidos.

A estabilidade de uma população pode também ser grandemente influenciada pelo grau de conectividade entre habitats. Se os indivíduos dessa população puderem facilmente deixar uma parcela e encontrar outra, então cada fragmento pode ser suficientemente pequeno para conter apenas alguns indivíduos e vários fragmentos conectados entre si poderão albergar uma parte substancial da população.

### **EXERCÍCIO A: a relação “n.º espécies-superfície”**

Neste exercício iremos considerar alguns Parque Nacionais (PN) dos EUA (Califórnia e Florida) e iremos examinar a relação “n.º espécies-superfície” utilizando as comunidades de mamíferos dos PN da Califórnia e as comunidades de anfíbios dos PN da Florida.

Na Califórnia, as áreas classificadas são habitualmente compostas por florestas de coníferas, pastagens e outros habitats. Os PN considerados no âmbito deste exercício vão desde a costa do Pacífico até às cadeias montanhosas do interior. Na Tab. I apresentamos o número de espécies de mamíferos existentes em alguns dos PN. Inversamente, as áreas classificadas na Florida, Georgia a Carolina do Sul são maioritariamente compostas por pântanos e vegetação costeira; o número de espécies de anfíbios está apresentada na Tab. 2.

Importa notar que diferentes grupos de organismos, nomeadamente mamíferos e anfíbios, diferem entre si nos seus requisitos de habitat elementares. Os anfíbios, em geral, requerem condições específicas para sobreviverem. Comparativamente com a maioria dos mamíferos, os anfíbios não se dispersam tão bem e parecem ter maiores dificuldades em subsistir em pequenas parcelas. Ademais, os anfíbios são muito sensíveis a toxinas e poluentes.

Parque Nacional	Superfície (ha)	Log <sub>10</sub> Superfície	S mamíferos
Muir Woods	224		24
Pinnacles National Monument	740		49
Whisky-ShastaTrinity Nat. Rec. Area	17 200		65
Lassen Nat. Park	43 048		66
Yosemite Nat. Park	308 068		93
Sequoia-king's Canyon Nat. Park	349 310		90

**Tabela I** – Número de espécies de mamíferos em áreas protegidas da Califórnia.

Parque Nacional	Superfície (ha)	Log <sub>10</sub> Superfície	S anfíbios
Ocmulgee Nt. Monument	284		6
Congaree Swamp Nat. Monument	8 984		13
Cumberland Island Nat. Seashore	14 737		14
Gulf Island Nat. Seashore	54 879		11
Big Cypress Nat. Reserve	289 761		21

**Tabela II** – Número de espécies de anfíbios em áreas protegidas da Florida, Georgia e Carolina do Sul.

## Actividade

1. Utilizando a informação disponível na Tab.I crie um gráfico que relate a dimensão do PN (abcissas) com o número de espécies existentes em cada área classificada (ordenadas) (use por exemplo uma folha de cálculo tipo Excel).
2. Complete o preenchimento da Tab. I calculando o logaritmo (de base 10) da superfície.
3. Faça um segundo gráfico utilizando neste caso o logaritmo da área no eixo das abcissas.
4. Proceda como em 1. mas utilizando os dados da Tab. II.
5. Complete o preenchimento da Tab. II calculando o logaritmo (de base 10) da superfície.
6. Proceda como em 3. mas utilizando os dados da Tab. II.

### **QUESTÕES:**

1. Para o 1.º gráfico que elaborou, qual é a relação existente entre a superfície dos PN e o número de espécies? Se desenhar a linha de tendência entre os pontos, qual é a sua forma geral (linha recta?, linha curva?)?
2. Quando se utilizam logaritmos da área a relação torna-se mais fácil de interpretar?

3. Compare os gráficos dos mamíferos da Califórnia com os dos anfíbios na Florida. São semelhantes? Qual será o padrão geral que permita descrever ambos os conjuntos de gráficos?

4. De que modo é que o numero de anfíbios difere do número de mamíferos em PN com superfícies próximas? Se existirem diferenças, quais poderão ser os justificativos.

### **EXERCÍCIO B: predição do número de espécies**

Neste exercício, tomando como base a fórmula que relaciona o número de espécies com a superfície, iremos tentar predizer o número de espécies que ocorrem em reservas com diferentes dimensões. Seguidamente, iremos explorar o conceito SLOSS através da admissão de diferentes pressupostos acerca dos habitats que compõem as nossas reservas hipotéticas.

Recordemos a relação “n.º espécies-superfície” descrita anteriormente: **K** (escala das espécies) é o número de espécies por área num dado ambiente. Neste caso, vamos trabalhar com répteis e o habitat hipotético será um meio arbustivo. O valor de **K** é de 6; quanto ao valor de **z**, os cientistas verificaram que a maioria das ilhas (geográficas e ecológicas) tem um valor compreendido entre 0,24 e 0,35, enquanto que a maior parte dos continentes (ou grandes extensões territoriais) apresenta um valor **z** entre 0,15 e 0,22. No âmbito dos exercícios propostos assumimos que o meio arbustivo hipotético tem um valor **z** = 0,2.

**Activid  
ade**

$$\mathbf{S = K \times A^z}$$
$$(N.º \text{ de espécies}) = (\text{escala das espécies}) \times (\text{superfície da ilha})^z$$

1. Utilizando a fórmula indicada acima, preencha a última coluna da Tab. III, relativa ao número expectável de répteis em reservas com diferentes superfícies.

Superfície (ha)	Log <sub>10</sub> Superfície	N.º de espécies de Répteis
200		
500		
1 000		
5 000		
10 000		
50 000		
100 000		

**Tabela III** – Número de espécies de répteis previstas em reservas com diferentes áreas.

2. Utilizando a informação da Tab. III elabore um gráfico em que relate a superfície das reservas (em abcissas) com o n.º de espécies de répteis (em ordenadas (use por exemplo uma folha de cálculo tipo Excel)).
3. Calcule os logaritmos (base 10) das áreas das reservas e complete o preenchimento da Tab.III. Crie um segundo gráfico que relate o logaritmo da dimensão das reservas (em abcissas) com o n.º previsto de espécies de répteis (em ordenadas).
4. Considere o modo como o valor de  $z$  pode afectar as estimativas do número de espécies. Para o efeito utilize a fórmula da relação “n.º espécies-superfície” e preencha os campos da Tab. IV usando diferentes valores de  $z$ .

Superfície (ha)	Número de espécies de Répteis		
	$z = 0,15$	$z = 0,20$	$z = 0,22$
1 000			
5 000			
10 000			
50 000			
100 000			

**Tabela IV** – Número de espécies de répteis previstas em reservas com diferentes áreas usando diferentes valores de  $z$ .

### **QUESTÕES:**

1. *Admite como provável vir a encontrar exactamente o número de espécies previsto para cada uma das reservas? Justifique a sua resposta.*
2. *Se colher metade das plantas existentes numa área homogénea com 5 000 ha, quantas espécies de répteis desaparecerão (consulte a Tab.III)? Que percentagem do total será perdido?*
3. *Com base na relação "n.º espécies-superfície", será preferível adquirir duas áreas com 500 ha cada ou apenas uma com 1 000 ha, tomando como referência o número de espécies que serão protegidas? De que aspectos dependerá a sua resposta?*
4. *De que modo é que o numero de espécies varia quando se altera o valor de z?*
5. *Em que circunstâncias considera que uma reserva de grandes dimensões será melhor opção do que diversas pequenas reservas? Pense em termos ecológicos e pese os tipos de habitats em diferentes situações.*
6. *Em que circunstâncias considera que diversas pequenas reservas serão uma melhor opção do que uma reserva de grandes dimensões?*

### **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ARRHENIUS, O. 1921. Species and area. **Journal of Ecology**, 9: 95-99.
- COX, C. & MOORE, P. 1993. **Biogeography: an ecological and evolutionary approach**. Blackwell Scientific.
- LOVEJOY, T.E., BIERREGAARD JR., R.O., RYLANDS, A.B., MALCOLM, J.R., QUINTELA, C.E., HARPER, L.H., BROWN JR., K.S., POWELL, G.V.N., SCHUBART, H.O.R. & HAYS, M.B. 1986. Edge and other effects of



isolation on Amazon forest fragments. *In* Soulé, M.E. (ed.) **Conservation Biology: the science of scarcity and diversity.** Pp: 257-285. Sinauer Associates.

MACARTHUR, R.H. WILSON, E.O. 1967. **The Theory of Island Biogeography.** Princeton University Press.

SHULTZ, S.M., DUNHAM, A.E., ROOT, K.V., SOUCY, S.L., CARROLL, S.D. & GINZBURG, L.R. 1999. **Conservation Biology with RAMAS® EcoLab.** Sinauer Associates Inc.

SIMBERLOFF, D.S. & WILSON, E.O. 1970. Experimental zoogeography on islands: a two-year record of colonization. **Ecology, 51:** 934-937.