

# Biogeografia Insular Aplicada À Conservação

## 1 — INTRODUÇÃO

Gustavo A. B. da Fonseca

Reserva Ecológica do IBGE — DF

A situação brasileira no tocante à preservação de sua fauna nativa chega a um ponto, a exemplo de outros países tropicais, em que o único caminho possível para se evitar a extinção de espécies representantes de diversos grupos animais é através da proteção das populações selvagens em reservas e parques nacionais.

A política de conservação até agora aplicada no País não satisfaz sequer o mínimo das necessidades. Afora alguns projetos isolados, criando parques e reservas antes

que a pressão humana se faça sentir, todos os problemas têm sido resolvidos através de paliativos desesperados, nos quais se perde a visão global do problema e que, a longo prazo, não se verificarão os efeitos desejados, isto é, os da manutenção da diversidade de espécies e da boa qualidade das populações.

O problema assume grandes proporções nas regiões sudeste e sul do País, nas quais apenas frações mínimas de vegetação nativa ainda existem. Entretanto, mesmo estas "ilhas" não poderão sustentar

---

\* Analista Especializado — Reserva Ecológica do IBGE — DF. Agradeço ao Dr. Thomas Lacher, Jr. pelas críticas e sugestões oferecidas, a Ana Maria P. B. da Fonseca, pela criteriosa revisão dos originais e a Antônio Márcio B. Maciel pelos serviços datilográficos.

a diversidade originalmente presente.

Os cerrados e a floresta amazônica sofrem atualmente a pressão da crescente expansão das fronteiras agropecuárias e da criação de pólos de desenvolvimento e colonização. Necessitam, pois, de planos de conservação que levem em consideração os problemas zoogeográficos, evitando-se, assim, as mesmas soluções desesperadas de última hora. Sullivan (1975) expõe: "... existe uma necessidade de se aplicar estratégias nacionais, juntamente com táticas a curto prazo. Um sistema de reservas naturais deve assegurar o futuro da diversidade animal e vegetal".

Há um interesse crescente na aplicação de achados de estudos zoogeográficos no planejamento de parques e reservas biológicas. Novas teorias desenvolvidas a partir de estudos de biogeografia insular evidenciam dados quantitativos que podem ser aplicados no desenho e manejo de reservas biológicas.

MacArthur & Wilson (1967) foram os pioneiros no desenvolvimento da teoria analítica de biogeografia insular; outros pesquisadores (Willis, 1974; Diamond, 1972; Terborgh, 1975; Gorman, 1978) demonstraram a importância das ilhas oceânicas e continentais como laboratórios naturais para o estudo do problema da diversidade e dinâmica populacional das comunidades<sup>1</sup> "ilhadas" em áreas isoladas. Logo se percebeu que esta teoria poderia ter aplicação no planejamento de reservas, pois estas áreas acabam por ser ilhas de vegetação natural cercada por áreas devastadas ou grandemente alteradas.

Podemos constatar a importância do estudo da biogeografia insular e sua aplicação na conservação. Teoricamente, o destino eventual da maioria das populações<sup>2</sup> é a extinção (MacArthur & Wilson, 1967), sendo as que habitam as ilhas particularmente susceptíveis. Das 94 espécies de pássaros que comprovadamente se extinguíram nos últimos 400 anos, somente 9 habitavam os continentes, sendo o restante endêmico nas ilhas. Darlington (1957) elaborou uma regra prática, predizendo que se destruímos 90% de uma área, metade das espécies se extinguirão. Embora seja uma simplificação, serve para se avaliar a extensão do problema.

Embora os problemas difiram quantitativamente em ilhas oceânicas e "ilhas" de vegetação natural dos continentes, a biogeografia insular fornece uma ferramenta teórica bastante útil para a visualização da dinâmica populacional dos megazoológicos: as reservas e parques nacionais.

Este trabalho tem por objetivo revisar as principais referências a nível internacional sobre a biogeografia insular e sua aplicação na conservação, tentando fornecer uma visão geral desta teoria que poderá aprimorar o manejo das reservas e parques nacionais brasileiros.

## 2 — A TEORIA DO EQUILÍBRIO

As ilhas sempre fascinaram os zoogeógrafos. Agora se admite que a pobreza das faunas insulares não é simplesmente devido ao isolamento. MacArthur & Wilson (1967)

<sup>1</sup> Comunidade é um agrupamento de populações de diversos organismos que cohabitam uma determinada área ou *habitat*.

<sup>2</sup> População pode ser definida como um agrupamento de organismos de uma mesma espécie ocupando um mesmo espaço em determinado período de tempo.

ampliaram a visão da dinâmica populacional das ilhas através da formulação de uma teoria coerente. No modelo de equilíbrio, a diversidade faunística das ilhas é determinada por um processo dinâmico em que participam a imigração e a extinção. Neste estado, o número de espécies permanece constante, embora a composição possa ser alterada ao longo do tempo. Quando as taxas de extinção e imigração se igualam, a comunidade entra em equilíbrio (fig. 1).

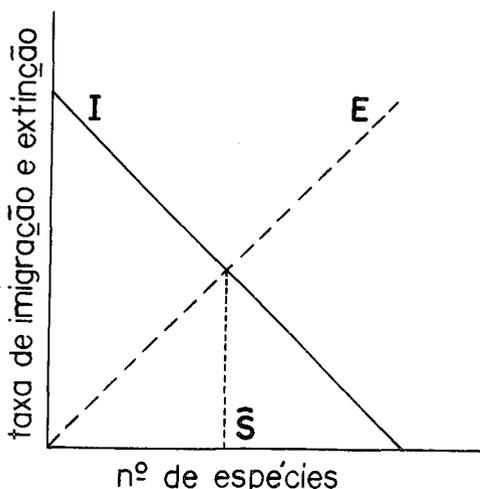


Figura 1

Diagrama apresentando as taxas de extinção e imigração como função do número de espécies em uma ilha. Representa o número de espécies no equilíbrio alcançado no ponto onde as curvas se encontram (segundo Gorman, 1979).

### 2.1 — Efeito da área sobre a taxa de extinção

No modelo de MacArthur & Wilson se evidencia uma correlação entre a área e o número de espécies. As altas taxas de extinção experimentadas pelas ilhas são atribuídas principalmente à sua pequena área e estudos recentes mostraram esta correlação.

A relação é dada pela equação,

$$S = KA^z \text{ onde} \quad (1)$$

$S = n.^{\circ}$  de espécies

$K =$  constante que é igual ao  $n.^{\circ}$  de espécies quando  $A = 1$

$A =$  área

$Z =$  inclinação da reta de regressão que se obtém quando se relaciona  $A$  e  $S$ . Geralmente está entre 0,2 e 0,3 para as ilhas oceânicas e entre 0,12 e 0,14 para as áreas continentais.

Diamond (1972), estudando as ilhas oceânicas até 300 milhas distantes de Nova Guiné, elaborou a seguintes equação:

$$0,22$$

$$S = 15,1 A$$

As áreas estudadas se comportaram de acordo com a equação, apresentando um erro médio de apenas 19%.

Vários destes estudos foram realizados em ilhas que, no início do Pleistoceno, possuíam ligações com o continente. Após a elevação de quase 100 metros do nível do mar, estas pontes submergiram e as ilhas ficaram isoladas do continente, contando, teoricamente, com o mesmo número de espécies que continham as áreas continentais circunvizinhas. Após o desaparecimento das conexões que ligavam estas ilhas ao continente, houve, inicialmente, uma supersaturação de espécies, provocando alta taxa de extinção, empurrando as comunidades de cada ilha para o equilíbrio. Neste estado, as ilhas conterão um menor número de espécies do que o continente, e ilhas maiores, desde que outros fatores sejam

iguais, possuirão maior riqueza faunística que ilhas menores (fig. 2).

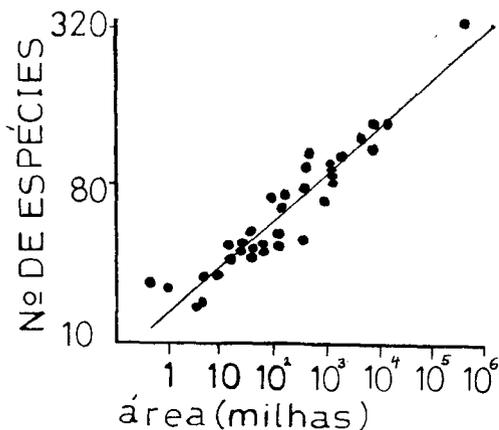


Figura 2

Gráfico mostrando o número de espécies de pássaros residentes nas ilhas da Nova Guiné, plotado em função da área da ilha, em uma escala logarítmica. Os pontos representam as ilhas que, presumivelmente, se encontram no equilíbrio (segundo Diamond, 1972).

Com a redução da área, o tamanho das populações de cada espécie presente diminui.

MacArthur & Wilson (1967) demonstraram matematicamente que populações que podem ser contadas em dezenas ou centenas virão a se extinguir em curto período de tempo, enquanto que aquelas contadas em centenas de milhares poderão durar indefinidamente. É claro que este modelo é bastante generalizado para ser universal, não representando as diferenças existentes entre as taxas de natalidade e mortalidade, assim como as características inerentes aos diversos taxa<sup>3</sup>. Entretanto, isto mostra a tendência que têm populações pequenas em caminharem para a extinção a taxas aceleradas.

Pode ser argumentado que áreas maiores geralmente possuem um número maior de *habitats*, oferecendo maior diversidade de nichos, podendo ser o fator determinante do número de espécies.

Faeth (1978) estudou as faunas entomológicas dos parques urbanos de Cincinnati (Canadá), que formam ilhas cercadas pelo ambiente inóspito da cidade. A diversidade de *habitats* entre estes parques não foi significativa para a determinação do número de espécies de dípteros presentes, enquanto que a área por si só contribuiu com 92% para a variação no número de espécies.

Simberloff (1976) realizou um experimento em que, artificialmente, foram reduzidos os tamanhos de 8 pequenas ilhas de vegetação flutuante de mangue. Estas ilhas possuíam grande variedade de combinações de insetos, escorpiões e aranhas. Após a redução da área, sem se alterar a diversidade de *habitats*, observou-se que o número de espécies diminuiu com a redução da área.

Nas faunas ornitológicas das Índias Ocidentais, Terborgh (1973) observou a correlação número de espécies/área. As regressões obtidas mostram que, enquanto a dimensão da fauna se reduz com a diminuição do tamanho das ilhas, as proporções existentes entre as principais famílias permaneceram constantes, mostrando que talvez a competição ocorra de maneira a manter o equilíbrio adaptativo.

## 2.2 — Medida do tempo de relaxamento

Diamond (1972) desenvolveu um método para calcular o tempo necessário para que uma comunidade supersaturada de espécies alcance o equilíbrio, isto é, o “tempo de relaxamento” para que retorne ao valor de equilíbrio ou “relaxe”.

<sup>3</sup> Taxon (pl. Taxa): Qualquer unidade taxonômica, podendo ser família, gênero, etc.

A medida dos tempos de relaxamento das diversas faunas insulares é resultante de dois processos: imigração e extinção, cujas respectivas taxas,  $I$  e  $E$  (expressadas em espécies por ano) dependem da "diversidade instantânea das espécies"  $S(t)$ , onde  $t$  representa tempo.

$$\frac{(S(t) - S_{eq})}{(s(0) - S_{eq})} = e^{-t/Tr} \text{ onde,} \quad (3)$$

$Tr$  = tempo relaxamento

$S_{eq}$  = n.º de espécies no equilíbrio, dado pela equação (1)

$S(0)$  = Diversidade inicial da comunidade

$e$  = base dos logaritmos naturais

O tempo de relaxamento é definido como o período de tempo necessário para que a fauna inicial relaxe para 36,8% da diversidade inicial. O relaxamento estará 90% completo após 2,303 tempos de relaxamento.

A partir deste método, Diamond calculou os tempos de relaxamento para as faunas ornitológicas de 19 ilhas que há 10.000 anos estavam conectadas com o continente. Neste estudo fica evidenciado que existe uma relação direta entre o tempo de relaxamento e o tamanho das ilhas.

Wilcox (1978) obteve resultados similares ao estudar as faunas herpetológicas de ilhas com idade aproximada de 10.000 anos. Ele achou, em algumas delas, faunas com uma diversidade maior do que a esperada, o que pode ser explicado à luz da teoria do equilíbrio. O modelo mostra que estas ilhas estão, no momento, supersaturadas de espécies e em processo de encolhimento ou relaxamento para um estado de equilíbrio, que será alcançado com menor número de espécies. Foram testadas as interre-

lações entre área e diversidade em 17 ilhas da região da baixa Califórnia. Estas ilhas possuem idades de isolamento diferentes, variando de aproximadamente 6.000 até 14.000 anos. Graficamente pode-se observar a tendência para menor diversidade quando se caminha ao longo das diferentes idades das diversas ilhas (fig. 3).

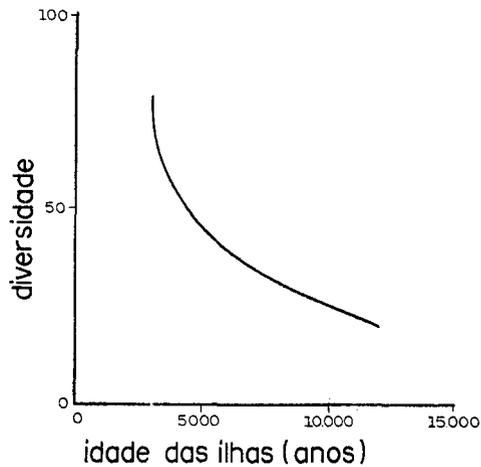


Figura 3

*Diversidade corrigida para efeitos de área e latitude apresentada como função do tempo de isolamento das diversas ilhas da baixa Califórnia (modificado segundo Wilcox, 1978).*

Willis (1974) estudou durante 11 anos as populações de três espécies de formicarídeos nas ilhas de Barro Colorado, no Panamá. Esta ilha artificial de 15,6 km<sup>2</sup> foi criada há aproximadamente 70 anos, quando o canal do Panamá entrou em operação. Esta área, inicialmente floresta secundária, foi transformada em reserva e tem sido protegida desde então. A floresta secundária tem passado pelos sucessivos estágios em direção à floresta primária clímax. A menor das espécies estudadas manteve estável sua população durante todo o curso do estudo, com 20 pares por km<sup>2</sup>. A espécie de tamanho intermediário reduziu seus números de 3 para 1,5 pares por km<sup>2</sup>. A espécie de maior porte declinou de 1,5 par por km<sup>2</sup> para apenas uma

fêmea em 1971, ocorrendo, portanto, a extinção. Outras duas espécies de formicarídeos de grande porte também desapareceram durante o curso do estudo. Assim, das 7 espécies inicialmente presentes, 3 já estavam extintas por volta de 1970. Nenhuma razão, além da pequena área da ilha com uma comunidade supersaturada, pode explicar as causas das extinções. A redução diferencial das espécies de grande porte foi devido a um fenômeno conhecido por biogeógrafos, no qual espécies com grande biomassa individual requerem áreas com dimensões elevadas para manterem populações estáveis. Terborgh (1974) construiu um modelo que, aplicado aos dados de Willis para Barro Colorado, predisse o número de espécies de pássaros que a ilha suportaria no equilíbrio. Das 205 espécies iniciais, passados 50 anos, chegaria-se a 188,4 espécies por volta de 1970. Este modelo antecipou a perda de 16 a 17 espécies e, pelos dados de Willis, observa-se que 15 já estão extintas. Cabe ressaltar que muitas outras espécies ainda sucumbirão, visto que a comunidade ainda não atingiu o equilíbrio.

### 2.3 — O problema da imigração

A imigração depende de uma série de fatores:

1. distância entre a ilha e o continente, ou sejam, distância da fonte de colonizadores;
2. distância entre as ilhas;
3. tipo de barreira à dispersão;
4. capacidade de dispersão e colonização dos diversos *taxa*.

Se não houver possibilidade de imigração, uma ilha recém-formada e supersaturada não atingirá o equilíbrio entre imigração e extinção, e suas populações se tornarão relíquias faunísticas.

Quando a ilha é formada por causas naturais ou artificiais e não está muito remota ou não possui barreiras intransponíveis, a imigração será um componente importante para a composição final do *pool* de espécies no equilíbrio, assim como para determinar o tempo necessário para que a comunidade relaxe.

A medida que o número de espécies aumenta por imigração, a taxa de extinção das espécies presentes cresce. Isto se deve ao fato de um número maior de espécies estarem sujeitas à competição e, por conseguinte, à extinção.

No ponto em que as curvas de imigração e extinção se encontram haverá uma compensação entre as duas taxas, sendo que novas espécies apontarão e espécies já residentes se extinguirão. Este equilíbrio é dinâmico, pois resulta de uma contínua modificação no *pool* de espécies.

Se considerarmos como fator a distância entre a ilha e a fonte de colonizadores, veremos que, indiferentemente dos diversos *taxa*, os organismos chegarão com maior facilidade às ilhas mais próximas, e com uma dificuldade maior à medida que nos afastamos da fonte de colonizadores. O resultado é que ilhas mais próximas terão uma taxa de imigração mais alta, conseqüentemente, empurrando a taxa de extinção para cima, atingindo o equilíbrio mais rapidamente. As mais afastadas levarão um tempo maior para chegarem a este estágio, atingindo-o com um menor número de espécies (fig. 4). Outro fator a ser considerado é a proximidade entre as diversas ilhas. Uma ilha remota receberá, preferencialmente, imigrantes de ilhas mais próximas, e estas serão colonizadas pelas espécies continentais.

Diamond & Mav (1978) levantaram a necessidade de se realizar censos em ilhas a intervalos regulares, devido à grande e rápida mu-

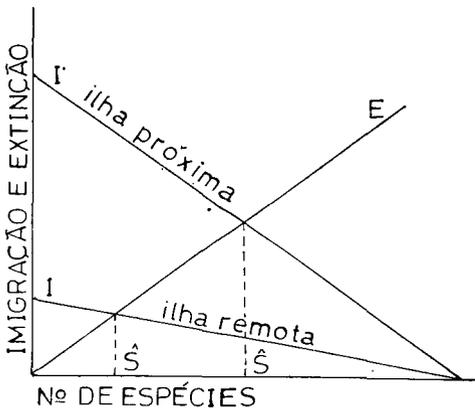


Figura 4

Quanto mais nos afastarmos da fonte de colonizadores menor será a taxa de imigração e, por conseguinte, menor será o número de espécies no equilíbrio (segundo Wilson & Bossert, 1971).

dança na composição das espécies. Esta composição está permanentemente sujeita a mudanças com o tempo, à medida que as populações residentes se extinguem e imigrantes reestabelecem novas comunidades. Algumas espécies que estão presentes em um censo, 10 anos mais tarde poderão estar ausentes, enquanto que outras não localizadas no primeiro censo já poderão se constituir em elementos da comunidade. Quanto menor o tempo entre os censos maior será a precisão da medida da taxa de mudança, porque, a intervalos muito grandes, imigrações e extinções poderão ocorrer sem que se note. Em 29 anos consecutivos, ornitologistas contaram o número de pares de cada espécie que nidificaram em ilhas santuários da Inglaterra (Farne Islands). Nestas pequenas ilhas (área total de 32 ha), 16 espécies de pássaros terrícolas nidificaram pelo menos uma vez em 29 anos. Destas, somente 4 se reproduziram todos os anos e o restante alternadamente ao longo do curso do estudo. Pesquisas realizadas por Jones & Diamond (1976)

nas ilhas do canal da Califórnia indicam que são necessários censos anuais para se avaliar com exatidão a taxa de mudança na composição das comunidades destas ilhas. Estes trabalhos mostraram que a taxa anual de mudança atingia, em algumas ilhas, 20%.

Um dos problemas inerentes à imigração é o da barreira que se interpõe entre o continente e a ilha. Outro fator é a capacidade que cada *taxon* possui para transpor esta barreira e chegar em bom estado à ilha.

Para a travessia dos oceanos, diferentes organismos possuirão diferentes resistências. Gorman (1979) mostra as maiores distâncias que diferentes grupos animais já percorreram através dos oceanos (fig. 5).

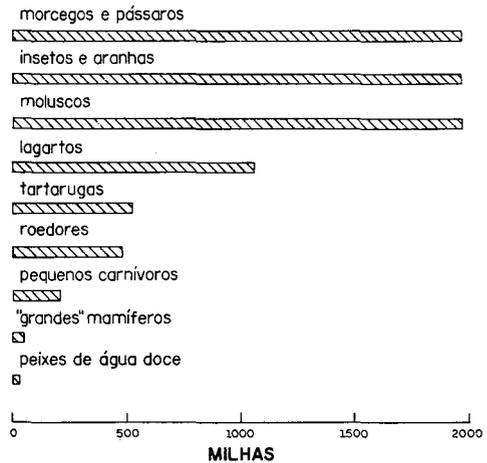


Figura 5

Esquema mostrando as maiores distâncias percorridas por diversos grupos animais. Os extremos não são necessariamente típicos de todo o grupo (segundo Gorman, 1979).

O estabelecimento de um propágulo (um casal fértil, ou uma fêmea grávida, para os organismos sexuais) e o seu sucesso dependerão das taxas de nascimento e mortalidade (MacArthur & Wilson, 1976). Após a colonização, e en-

quanto o número de indivíduos ainda é reduzido, a expectativa de vida da população é pequena; à medida que sobrevive e cresce, poderão persistir por um longo período de tempo. Entretanto, se houver tempo suficiente, o fim previsível de todas as populações é a extinção. O modelo de MacArthur & Wilson calcula as probabilidades de sucesso na colonização e as de extinção. Uma vez na ilha, um propágulo precisa se reproduzir rapidamente. Suas chances de sobrevivência serão dependentes do sucesso obtido no crescimento em número, embora a capacidade inerente ao crescimento varie de *taxon* para *taxon*. Um bom colonizador terá um alto "r"<sup>4</sup>, que será atingido mais através de uma baixa taxa de mortalidade de que de uma alta natalidade. Crowell (1979), testando este modelo, estudou a habilidade de pequenos roedores em colonizar ilhas. Seus resultados estão em concordância com o modelo, sendo que a sobrevivência dos propágulos se manteve na mesma magnitude prevista por MacArthur & Wilson.

Neste estudo a espécie introduzida (*Clethrionomys gapperi*) deslocou a única espécie de roedor (*Microtus pennsylvanicus*) residente em uma pequena área de floresta no interior de uma ilha. Entretanto, por limitações de espaço e uma alta rigidez de nicho, *Clethrionomys*, após um rápido crescimento, acabou por se extinguir, por não conseguir manter um número estável de indivíduos. *Microtus*, por sua vez, sendo uma espécie altamente flexível, consegue sobreviver em grande variedade de *habitats*,

mantendo grandes populações que sobrevivem mesmo em pequenas ilhas.

As ilhas no equilíbrio acabam por se tornar comunidades rígidas, raramente dando oportunidade a colonizadores. Como se pode observar, para se fixar em uma ilha, a espécie precisa estar dotada de uma série de atributos e isto pode ser constatado ao se estudar as faunas insulares. As comunidades resultantes do equilíbrio entre colonização e extinção não são uma reunião randômica de espécies do continente (Gorman, 1979), mas antes, uma comunidade formada pelos organismos de maior adaptabilidade à vida insular. Os bons colonizadores são, muitas vezes, espécies de ecotonos e de ambientes perturbados, ao contrário de espécies mais adaptadas aos ambientes clímax.

#### 2.4 — As ilhas ecológicas

A biogeografia admite que dentre os *habitats* continentais existem aqueles que, não sendo verdadeiramente ilhas, podem ser considerados como tal pelo seu isolamento. Estes incluem oásis de desertos, cavernas, topos de montanha e lagos continentais se constituindo em ilhas ecológicas.

Vuilleumeier (1970) estudou as ilhas de vegetação de páramo nos Andes da Venezuela, Colômbia e norte do Equador, tentando mostrar o caráter insular das populações de pássaros. Estas regiões se comportaram como arquipélagos, mostrando uma correlação linear entre área e número de espécies.

---

<sup>4</sup> "r" é definido como uma estratégia de alto crescimento populacional e maior produtividade (MacArthur & Wilson, 1967). É oposto a "K", uma estratégia de maior eficiência no uso de recursos, com um rígido requerimento de nicho. Pianka (1970) sugere que podemos reconhecer grupos que, como os vertebrados terrestres, adotam uma estratégia K, e outros, como insetos, que adotam a estratégia r. Krebs (1972) afirma que todos os organismos têm de se comprometer, de alguma forma, com um destes dois extremos.

A correlação área-diversidade foi estudada em lagos e oceanos continentais por Barbour & Brown (1974). Os seus resultados indicam que, de uma amostra de 70 lagos e mares continentais de diversas partes do mundo, a área de superfície e a latitude foram responsáveis por aproximadamente 1/3 da variabilidade na diversidade de peixes. Observando-se uma subamostragem constituída por 14 lagos norte-americanos, a latitude e a área contaram com 90% para a diversidade, embora a latitude tenha tido um papel maior. Neste tipo de biota<sup>5</sup> o problema difere, pois não há um equilíbrio entre extinção e colonização. Os autores sugerem que estas biotas representem o equilíbrio entre especiação<sup>6</sup> e extinção, isto quando a área da ilha em questão é suficiente para permitir a especiação.

Assim, a inclinação da curva número de espécies-área deve ser mais baixa do que aquela para colonização-extinção, devido à baixa taxa de especiação (comparada à colonização) e também à alta taxa de extinção experimentada por ilhas pequenas. As faunas de peixes de lagos africanos alcançaram uma inclinação ( $z = 0,35$ ) que se equipara às mais altas encontradas para extinção-imigração. Barbour & Brown sugerem que isto se deve à grande especiação por que passaram os *Cichlidae*, não experimentada por nenhuma outra fauna lacustre por ele estudada. Deste modo, poderemos reconhecer dois tipos de equilíbrio, extinção-imigração e especiação-extinção, embora os dois fenômenos ocorram em escalas de tempo diversas.

Muitas das interações entre plantas hospedeiras e insetos podem estar inclusas no domínio da

teoria da biogeografia insular. Uma espécie vegetal pode ser considerada uma ilha para determinadas espécies de insetos. Jansen (1968) coloca que a taxa de imigração nestes casos seria função do tamanho da planta, distância entre elas, similaridade fisiológica e taxonômica das espécies adjacentes, diversidade de insetos que ocorrem nas espécies circunvizinhas e também das características de determinadas espécies vegetais, como compostos químicos e periodicidade. A taxa de extinção seria função da diversidade de insetos presentes, do tamanho das plantas e da distância entre elas. Deste modo, a coevolução de uma planta hospedeira e seus insetos seria análoga à evolução de uma comunidade insular e as espécies que a constituem. Agrupamentos de inflorescências de *Heliconia* se comportaram como ilhas ecológicas (Seifert, 1975), nos termos propostos por Jansen (1968). Este raciocínio talvez possa ser estendido a outras interações como ectoparasitas em mamíferos e relações hospedeiro-parasita.

Brown (1971) explica a diversidade nas ilhas de montanha através de uma teoria de não-equilíbrio. Ele afirma que, durante o Pleistoceno, mamíferos chegaram a estas ilhas e desde então tem havido extinções, mas nenhuma imigração. A curva espécie-área por ele obtida possui uma inclinação maior ( $z = 0,43$ ) do que as geralmente obtidas em biotas insulares, representando então um equilíbrio supranormal. A conclusão é de que estas faunas são relíquias e não representam o equilíbrio entre as taxas de colonização e extinção.

<sup>5</sup> Biota: conjunto de organismos que habitam uma determinada região.

<sup>6</sup> Especiação: mecanismo evolutivo que envolve uma série de processos biológicos, levando à criação de novas espécies a partir de outras preexistentes.

### 3 — BIOGEOGRAFIA INSULAR APLICADA AO MANEJO DE RESERVAS

O homem tem transformado continuamente o seu ambiente e causado grandes mudanças locais na diversidade de organismos. Os antigos ecossistemas têm sido reduzidos a pequenas ilhas à medida que aumenta o desenvolvimento agropecuário e o progresso industrial abre fronteiras para a implantação de grandes centros urbanos. Estas ilhas de vegetação natural foram sendo formadas ao longo dos séculos como resultado da colonização de grandes extensões de terra pela espécie humana. Este processo de insularização continental de antigos ambientes tem sido, até recentemente, realizado de maneira quase acidental.

Só a partir do início do século XX o homem começou a tomar conhecimento do impacto da sua cultura no meio ambiente. Começou-se a pensar na conservação do que ainda resta, e a única solução avistada foi a de se proteger estas relíquias de comunidades naturais que sobreviveram. Algumas regiões, como a Amazônia, ainda guardam grandes trechos de vegetação natural, e a política de exploração destas poucas áreas deve ser planejada para se evitar a predação ambiental até agora praticada.

Com o assentamento de reservas, vários problemas inerentes ao seu manejo foram sendo levantados. Estas áreas ficaram protegidas, mas a devastação ao seu redor continua, isolando-as cada vez mais. Desta forma, a cada dia que passa, os problemas enfrentados pelas reservas mais se assemelham aos das ilhas, visto que assumiram verdadeira característica insular.

Se lembrarmos das altas taxas de extinção que apresentam as

ilhas, podemos observar que o estudo da biogeografia insular tornou-se extremamente importante para a elucidação dos mecanismos que agem nas reservas e parques nacionais.

A teoria do equilíbrio de MacArthur & Wilson pode fornecer modelos para se avaliar os diversos aspectos inerentes à manutenção da diversidade natural.

Na sessão anterior mostrou-se a importância da área como fator de sustentação da diversidade. O número de espécies no equilíbrio que uma reserva sustentará dependerá do seu tamanho. Outro fator determinante será a distância da fonte de colonizadores que, no caso, serão outras reservas adjacentes. Pequenas reservas muito afastadas umas das outras possuirão altas taxas de extinção e baixas taxas de importação.

Recorrendo aos dados da biogeografia insular, pode-se ressaltar vários aspectos que serão determinantes no sucesso de uma reserva, isto é, a manutenção da diversidade.

1. A reserva deve possuir a maior área possível, fornecendo espaço suficiente para a manutenção de uma população estável de organismos de grande porte, aqueles que ocupam o topo da cadeia alimentar. Deve-se levar em consideração o "pool" de organismos que a reserva deseja manter, desde insetos e pequenos invertebrados até os grupos com maior requerimento de área, como carnívoros e mamíferos de grande porte. Assegurando-se a sobrevivência destes últimos, será grande a chance de se propiciar segurança às espécies que ocupam níveis tróficos inferiores.

Craighead (1974), estudando os ursos grizzly, determinou sua densidade em uma família (geralmente 4 indivíduos) por 300 km<sup>2</sup>. Entretanto, para se evitar problemas de *inbreeding* (Ralls *et alii*, 1979), poder-se-ia dizer que 4 famílias se-

riam necessárias, passando o requerimento de área para 1.200 km<sup>2</sup>. Mesmo assim, pode-se questionar se esta população poderia se sustentar por muito tempo. Sullivan & Shaffer (1975) calcularam a expectativa de vida de uma população constante de duas famílias de ursos, aplicando os conceitos matemáticos da teoria do equilíbrio. A estimativa está entre 1000 e 1600 anos. Estes mesmos autores aplicaram os mesmos métodos a populações de lobos norte-americanos. A densidade observada foi de um animal/60 km<sup>2</sup>. Sendo de 10 a 15 o número médio de indivíduos em uma matilha, são necessários 600-700 km<sup>2</sup> para a manutenção de apenas uma matilha.

Darlington (1957) estudou um fenômeno comumente encontrado em ilhas com idades elevadas, que pode evidenciar a fragilidade de populações de vertebrados ilhados. Estas ilhas raramente possuem espécies de vertebrados que sejam relíquias de eras passadas, sendo imigrantes recentes as que habitam no presente. Madagáscar, por exemplo, data do Mesozóico, quando então possuía dinossauros e também Nova Zelândia e Nova Caledônia parecem bastante antigas. Suas populações de vertebrados se extinguíram com o passar do tempo, se não através de competição com colonizadores, talvez devido a algum tipo de degeneração que ocorre em áreas pequenas e isoladas.

Não é uma tarefa simples a avaliação de uma área mínima para uma reserva que deseja manter um razoável número de grupos, representantes de diversos *taxa* de populações estáveis. Não existe, porém, uma área máxima e nunca uma reserva será grande demais.

2. Deve-se evitar a construção de rodovias e estradas muito largas no interior das reservas. Para algumas espécies, o resultado prático será a redução no tamanho de

área total da reserva. Portanto, todo o planejamento de vias de acesso aos diversos pontos da reserva deve obedecer a um critério de maior eficiência dos trajetos. É preferível se perder tempo e combustível para se alcançar determinado trecho do que construir redes intrincadas constituídas de vários atalhos.

Outro tipo de dano causado por estradas e clareiras é a oportunidade que se abre às espécies invasoras, que algumas vezes possuem a capacidade de competir com espécies nativas e deslocá-las de seus nichos.

3. As reservas não devem possuir cercas que impeçam o trânsito de aimais. Cercas convencionais não impedem que caçadores invadam a área, mas impossibilitam a entrada de animais terrestres de médio e grande porte, como lobos, veados, emas, entre vários outros, que procuram refúgio a partir de áreas próximas. O ideal seria apenas um estaqueamento demarcatório e um sistema de vigilância eficiente. Mesmo na ausência deste último, as cercas de nada servem. A emigração é praticamente nula em reservas ilhadas, não havendo o perigo de se "perder" indivíduos para o exterior.

Exemplificando o problema, pode-se citar que, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, não raro pode-se encontrar pelos e penas de animais que tentam transpor a barreira de arame farpado que a cerca.

4. As reservas não devem ser localizadas muito distantes umas das outras, quando não é possível se estabelecer uma grande área. Duas importantes variáveis na determinação da diversidade são área e distância da fonte de colonizadores. Diamond (1975) sugere que devem ser deixados corredores de ligação entre as reservas, de modo a minimizar as taxas de extinção das pequenas reservas, ou ainda que se

jam refeitos onde não mais existam, imitando o máximo possível a vegetação original. Estes corredores devem permitir um intercâmbio de indivíduos de vários *taxa*, incluindo-se os mamíferos e carnívoros de grande porte (Sullivan & Shaffer, 1975). Outro ponto a se destacar é que os corredores não podem suportar uma fauna residente devido à restrição de espaço e quanto mais longos forem menores serão as chances de migração.

Vanzolini (1978) levanta a necessidade de se proteger os limites mais externos das reservas contra a degradação. Isto pode ser obtido através de uma zona de absorção do impacto do ambiente circundante, não se expondo diretamente a parte virgem da reserva ao exterior.

5. Deve-se levar em consideração que uma reserva deverá possuir, na sua área mínima, uma diversidade razoável de *habitats*, devendo haver espaço para os diversos fenômenos que normalmente ocorrem em ambientes naturais, como o fogo (Wright, 1974), vento e morte de árvores velhas. Estes fenômenos possibilitam a criação de substratos internos para novas colonizações (Gorman, 1979). Estes eventos, quando em pequena escala, não devem ser evitados. O fogo, por exemplo, é responsável pela germinação de certas sementes de espécies do cerrado, que para quebrarem a dormência, necessitam de altas doses de calor (Filgueiras, 1980). As árvores derrubadas pelos ventos ou pelas correntes pluviais de encostas representam um microambiente altamente especializado para determinadas espécies de vegetais, fungos, invertebrados e pequenos vertebrados.

6. Um fenômeno comumente observado em ilhas e que deve ser levado em consideração quando se planeja uma reserva é o da compensação por densidade. Este fenô-

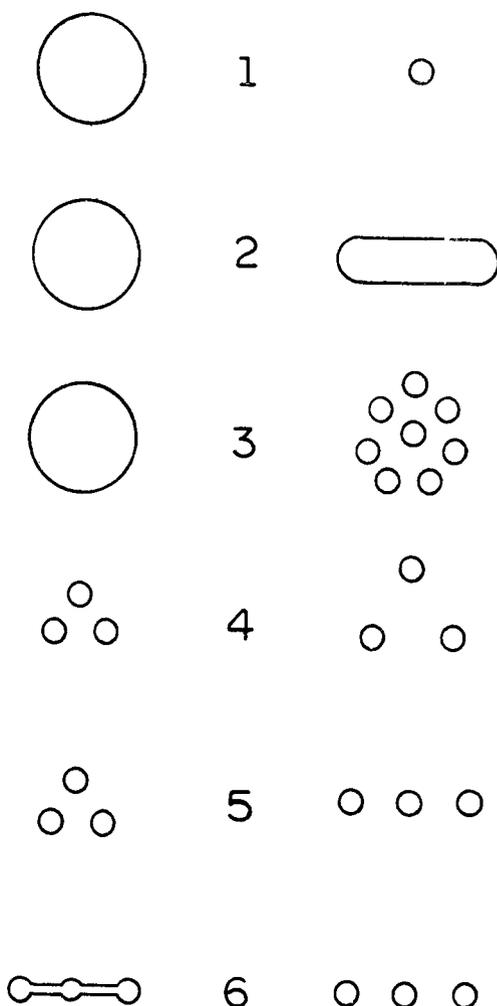


Figura 6

*Esquemas geométricos indicando as regras para desenho de reservas segundo a teoria da biogeografia insular. Os desenhos da coluna da esquerda são preferíveis aos seus respectivos pares porque devem apresentar menores taxas de extinção. Os três primeiros desenhos da esquerda são preferíveis aos três últimos (modificação segundo Wilson & Willis, 1975 e Gorman, 1979).*

meno acarreta um aumento no número de indivíduos de espécies generalistas que ocuparão os nichos que foram abandonados por especialistas de grande porte. Isto se torna mais evidente em ilhas (MacArthur & Wilson, 1967) devido à dificuldade que organismos de maior porte enfrentam para se

manterem em populações estáveis. Os dados de Willis apresentados anteriormente para Barro Colorado mostram com clareza o problema. O resultado extremo deste processo pode ser o da invasão das pequenas reservas por ratazanas (*Rattus sp*), baratas e pardais, a partir de áreas urbanas próximas (Wilson & Willis, 1975).

7. Existe uma controvérsia a respeito da preferência por um número pequeno de grandes reservas (sempre limitado por razões políticas) ou por grande número de pequenas reservas. Diamond (1974) e Wilson & Willis (1975) acreditam que uma grande reserva é a melhor escolha (quando isto é possível). O argumento apresentado é o de que uma grande reserva suportará, no equilíbrio, um número superior de espécies que numerosas pequenas reservas com uma área total igual à grande reserva.

O argumento contrário é o de que uma única área corre o risco de perder todo o seu estoque devido a catástrofes naturais, e a comunidade estaria também mais exposta a epidemias (Hay, 1975).

8. Reunindo os dados apresentados, pode-se esquematizar as melhores regras geométricas para o desenho de reservas naturais (fig. 6). Reservas contínuas são preferíveis a reservas fragmentadas, devido ao efeito da área e da distância. As reservas devem ser preferencialmente circulares, devido ao "efeito de península"<sup>7</sup> descoberto por biogeógrafos. Fragmentos agrupados, devido ao efeito da distância, são melhores que aqueles arranjados linearmente, e se uma reserva tem de ser dividida, aquelas conectadas por corredores possuirão menores taxas de extinção (Wilson & Willis, 1975).

## 4 — CONCLUSÃO

Os dados apresentados mostraram a complexidade de problema da conservação da diversidade em reservas e parques nacionais, pois a longo prazo apresentarão tanto problemas quanto soluções.

Os estudos existentes sobre os efeitos da área sobre a diversidade são ainda preliminares e aparentemente não possuem uma característica universal aplicável a todos os *taxa*, evidenciando, no entanto, a tendência que têm populações pequenas em apresentarem altas taxas de extinção, e como fator de agravamento temos o problema do crescente isolamento a que estão submetidas estas áreas, principalmente quando lidamos com organismos que ocupam níveis tróficos superiores, como os grandes carnívoros e grupos que têm nichos especializados.

A reserva teórica ideal talvez nunca venha a ser criada, mas deve-se ter em mente o conceito (Vanzolini, 1975) para orientar os trabalhos nesta área. As reservas não devem ter como meta se tornarem grandes zoológicos sem grades. Sua função é a de preservar o máximo possível as características de diversidade de espécies e multiplicidade de nichos dos ambientes originais. Isto não quer dizer que não se deva concentrar esforços na preservação de espécies ameaçadas, que subsistem em pequenas populações em santuários isolados. Estes poderão sustentar por algum tempo um estoque que futuramente possa ser introduzido em outras áreas com maior capacidade de suporte.

Como afirmam Wilson & Willis (1975), talvez o último estágio a que chegaremos neste campo será o da manipulação ambiental contro-

<sup>7</sup> O número de espécies diminui em áreas de península devido à ausência de áreas contíguas que sirvam de fonte de colonizadores.

lada, que fornecerá matéria-prima para estudos de grande magnitude, além de proporcionar maior segurança às milhares de espécies que habitam a terra. A necessidade que se tem na preservação da diversidade animal e vegetal surge do próprio grau de curiosidade humana. Ainda segundo estes autores, "... os mesmos instintos que motivam o observador amador de pássaros, o colecionador de borboletas e o jardineiro de fim de semana, poderão sustentar indefinidamente o interesse no estudo da ecologia e da biogeografia".

Os estudos populacionais sobre a fauna brasileira ainda estão em fase embrionária. O desinteresse

existente até agora sobre a conservação dos recursos faunísticos do País é reflexo da pobreza e subdesenvolvimento. À medida que cresce a consciência sobre os problemas ecológicos, surge a necessidade de se utilizar os dados até agora reportados para outros países que possuem conceituados históricos conservacionistas. Deste modo, os planos que estão sendo elaborados para a conservação em parques e reservas têm que levar em consideração o conhecimento científico até agora existente, além de estimularem a pesquisa dos recursos faunísticos próprios, evitando-se a perda de um dos maiores patrimônios naturais do País.

## BIBLIOGRAFIA

1. BARBOUR, C. D. and BROWN, J. M. Fish species diversity in lakes. *American Naturalist* 108: 473-489, 1974.
2. BROWN, J. H. Mammals on mountaintops: Nonequilibrium insular biogeography. *American Naturalist* 105: 467-478, 1971.
3. CASE, T. J. Species numbers, density, compensation and colonizing ability of lizards on islands in the gulf of California. *Ecology* 56: 3-18, 1975.
4. CROWELL, K. Experimental zoogeography. Introductions of mice to small islands. *American Naturalist* 107: 535-558, 1973.
5. DARLINGTON, P. J. Zoogeography: *The geographical distribution of animals*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1957.
6. DIAMOND, J. M. Biogeographic kinetics: Estimation of relaxation times for avifaunas of Southwest Pacific Islands. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 69: 3199-3203, 1972.
7. DIAMOND, J. M. & MAY, R. M. Species turnover rates on islands: Dependence on census interval. *Science*, 197: 266-270, 1978.
8. FAETH, S. H. & KANE, T. C. Urban Biogeography. City parks as islands for diptera and coleoptera. *Oecologia*, 32: 127-133, 1978.
9. FILGUEIRAS, T. S. O fogo como agente ecológico. *Revista Brasileira de Geografia*, em publicação.
10. GORMAN, M. Island Ecology. *Outlines Studies in Ecology*. Chapman and Hall, eds., 1979.
11. Jansen, D. H. Host plants as islands in evolutionary and contemporary time. *American Naturalist* 102: 592-595, 1968.
12. JONES, H. L. & DIAMOND, J. M. *Condor* 78: 526, 1976.
13. KREBS, C. J. Ecology. *The experimental analysis of distribution abundance*. Harper & Row Inc., 1972.
14. MACARTHUR, R. & WILSON, E. O. *The theory of island biogeography*. Princeton University Press, 1967.
15. MACARTHUR R., DIAMOND, J. M. and KARR, J. R. Density compensation in island faunas. *Ecology*, 53: 330-342, 1972.
16. MAY, R. M. Island biogeography and the design of wildlife preserves. *Nature* 254: 177-188, 1975.
17. PIANKA, E. R. On r- and K- selection. *American Naturalist* 104: 592-597, 1970.
18. SEIFERT, R. P. Clumps of *Heliconia* inflorescences as ecological islands. *Ecology*, 56: 1416-1422, 1975.
19. SIMBERLOFF, D. S. Experimental zoogeography of islands: effects of island size. *Ecology*, 57: 629-648, 1976.
20. RALLS, K., BRUGGER, K., and BALLOU, J. Inbreeding and juvenile mortality in small populations of ungulates. *Science*, 206: 1101- 1103, 1979.
21. SULLIVAN, A. L. and SHAFFER, M. L. Biogeography of the megazoo. *Science* 189: 13-17, 1975.
22. TERBORGH, J. Chance, habitat and dispersal in the distribution of birds in the West Indies. *Evolution* 27: 338-349, 1973.
23. TERBORGH, J. Faunal equilibria and the design of wildlife preserves. Em *Tropical Ecological Systems*. F. B. Golley and E. Medina, ed. Springer-Verlag, 1975.
24. VANZOLINI, P. E. Current problems of primate conservation in Brazil. Em *Recent Advances in Primatology*, vol. 2, *Conservation*. D. J. Chivers and W. Lane-Petter, eds., Academic Press, 1978.

25. VUILLEUMEIER, F. Insular biogeography in continental regions: I. The Northern Andes of South America. *American Naturalist*, 104: 373-388, 1970.
26. WILCOX, B. A. Supersaturated island faunas: A species age relationship for lizards on post-pleistocene landbridge islands. *Science* 199: 996-998, 1978.
27. WILLIS, E. O. Populations and local extinctions of birds in Barro Colorado island, Panam. *Ecological Monographs*, 44: 153-163, 1974.
28. WILSON, E. O. and BOSSERT, W. H. A. *Primer of population biology*. Sinauer Associates, Inc., Stanford, 1971.
29. WILSON, E. O. and WILLIS, E. O. Applied Biogeography. Em *Ecology and Evolution of Communities*. M. L. Cody and J. M. Diamond, eds. Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1975.
30. WRIGHT, Jr., H. E. Landscape Development, Forest Fires, and Wilderness Management. *Science* 186: 487-494, 1974.