

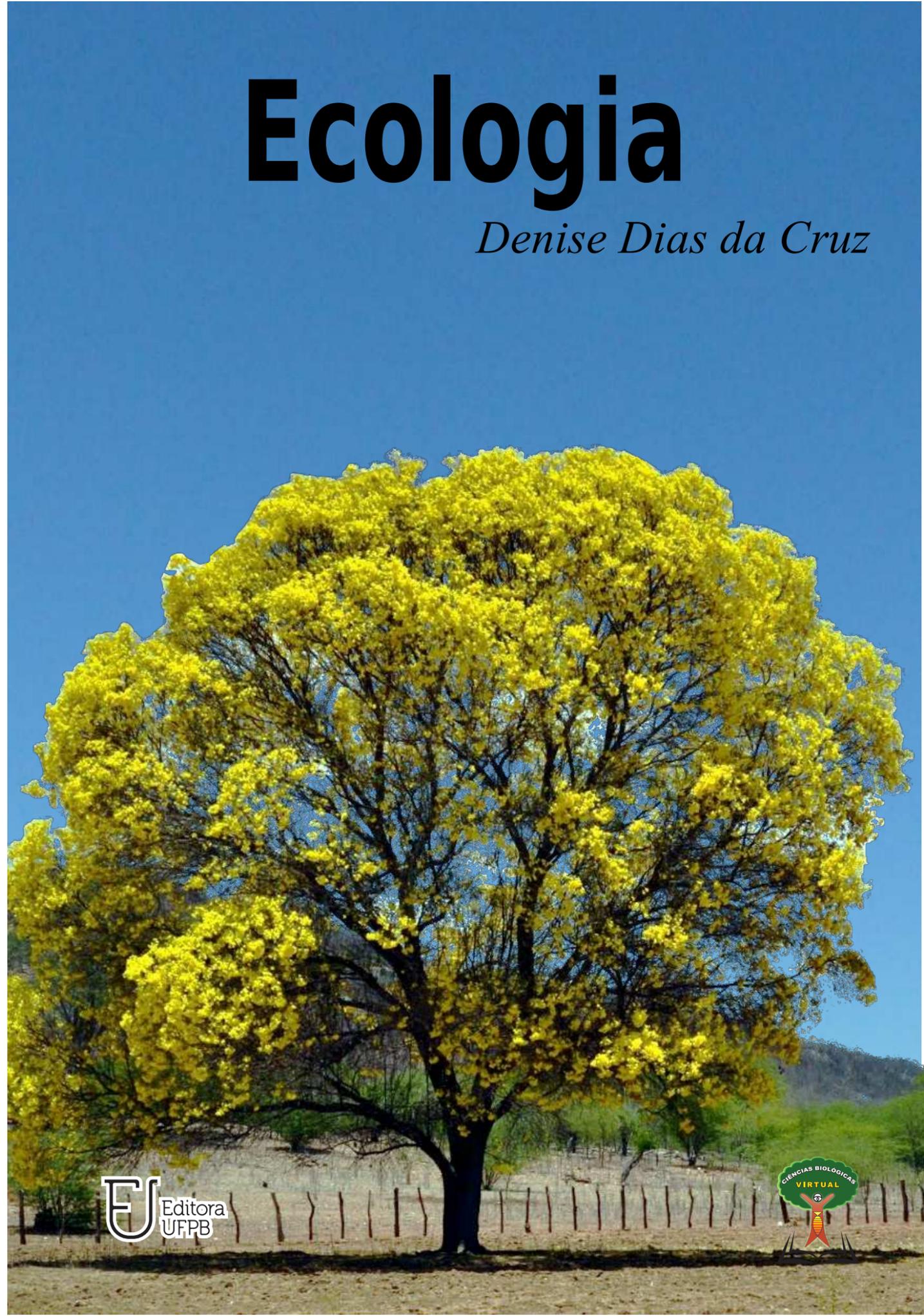
Universidade Federal da Paraíba
Licenciatura em Ciências Biológicas a Distância



Ecologia

Ecologia

Denise Dias da Cruz



Denise Dias da Cruz

Ecologia

Editora da UFPB
João Pessoa
2015



UNIVERSIDADE
FEDERAL DA PARAÍBA

Reitora MARGARETH DE FÁTIMA FORMIGA MELO DINIZ
Vice-Reitor EDUARDO RAMALHO RABENHORST
Pró-reitora de graduação ARIANE NORMA DE MENESES SÁ
Diretor da UFPB Virtual JAN EDSON RODRIGUES LEITE
Diretora do CCHSA TEREZINHA DOMICIANO DANTAS MARTINS



EDITORA DA UFPB

Diretora IZABEL FRANÇA DE LIMA
Supervisão de Editoração ALMIR CORREIA DE VASCONCELLOS JÚNIOR
Supervisão de Produção JOSÉ AUGUSTO DOS SANTOS FILHO

CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS À DISTÂNCIA

Coordenador RAFAEL ANGEL TORQUEMADA GUERRA
Vice-coordenador ELIETE LIMA DE PAULA ZARATE

C9573e Cruz, Denise Dias da.

Ecologia / Denise Dias da Cruz. - João Pessoa: Editora da UFPB,
2015.

252p. : il. –

ISBN: 978-85-237-1011-8

Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas à Distância.
Universidade Federal da Paraíba.

1. Biologia. 2. Educação a distância. 3. Ecologia. 4. Ecossistema. I.
Título

CDU: 63

Todos os direitos e responsabilidades dos autores.

EDITORA DA UFPB
Caixa Postal 5081 - Cidade Universitária
João Pessoa - Paraíba - Brasil
CEP: 58.051 - 970
<http://www.editora.ufpb.br>

Impresso no Brasil
Printed in Brazil

Apresentação

Maio de 2008. Lá se vão quase sete anos... Foi nessa época que demos os primeiros passos para a implantação do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas a Distância. Éramos um grupo de dez professores, dez tutores e uma secretária. Naquele momento, estávamos, todos nós, iniciando um aprendizado. Nós, que achávamos que sabíamos tudo sobre o “ser professor” iríamos, em breve, descobrir que havia um novo aprendizado, um novo caminho a trilhar, o caminho da Educação a Distância, EaD. Como disse o poeta espanhol Antonio Machado, “...caminante, no hay camino. El camino se hace al andar” (Caminhante, não há caminho, o caminho se faz ao andar). E foi seguindo essas palavras de Machado que este curso foi, pouco a pouco sendo erguido, com a preciosa colaboração de mais professores e tutores que foram chegando e com a participação fundamental dos atores principais, nossos alunos. Comecei no curso como coordenador e, nessa função, pude conhecer um pouco melhor minha Paraíba, terra de adoção que, apesar de ter aqui chegado no final de 1989, só conhecia até Campina Grande. A Borborema parecia, para mim, intransponível. Mas, graças a minha função, tive e tenho o prazer de poder percorrer sistematicamente de Itaporanga a São Bento, de Araruna a Cabaceiras, do Conde a Duas Estradas. E hoje, também, de Camaçari a Jacarací, na Bahia. Lembro que, numa viagem, passando próximo a Santa Luzia, avistei uma árvore florida e a apresentei aos colegas de viagem:

- Pessoal, olhe aquele ipê amarelo florido. E o motorista, com sua sabedoria me corrigiu:

- Professor, não é um ipê é uma craibeira, árvore aqui do sertão.

E assim, a capa desta coleção que apresenta uma craibeira florida da região do Seridó paraibano, tem continuidade na contracapa que apresenta um ipê amarelo florido da Mata Atlântica. Podemos fazer uma analogia com o fato de o curso ser produzido aqui, na capital, mas ele é todo dedicado a vocês, queridos alunos,

que se encontram espalhados por todo o Estado e até pelos estados vizinhos. A EaD veio para verdadeiramente democratizar o ensino superior de qualidade levando os cursos aonde o aluno está. Independente de situação geográfica, financeira, civil ou trabalhista. Todos, de fato, têm direito a ele. Pensando assim, nos lançamos na criação desta coleção produzida por alguns de nossos melhores professores para muitos de vocês, alunos. Esperamos que a aproveitem. Sem vocês, nada disto teria sentido.

Rafael Angel Torquemada Guerra

SUMARIO

CAPITULO 1 – Ecologia: histórico e estrutura

CAPITULO 2 – Respostas adaptativas: o efeito de condições e recursos

CAPITULO 3 – Biomas

CAPITULO 4 – Fluxo de Energia

CAPÍTULO 5 – Ciclagem de Nutrientes

CAPITULO 6 – Indivíduos e Populações

CAPITULO 7 – Interações Ecológicas

CAPITULO 8 – Sucessão Ecológica

CAPITULO 9 – Biodiversidade

CAPITULO 10 – Impactos Antrópicos

CAPITULO 11 – Conservação e Sustentabilidade

Prefácio

Ao longo do desenvolvimento desse livro, pensei muito em como os alunos do Ensino à Distância poderiam aproveitá-lo. Apesar de existirem excelentes livros de Ecologia em português, percebemos que na modalidade à distância, poderíamos tentar desenvolver um material alternativo, que trouxesse de maneira mais interativa os conteúdos e ideias da Ecologia.

Escrevi esse livro com esse sentimento: tentando trazer exemplos e, sempre que possível, contextualizá-los na realidade do nordeste, local onde as atividades são desenvolvidas. Dessa forma, esta obra aborda os tópicos essenciais para se compreender Ecologia, partindo de conceitos básicos e percorrendo questões voltadas para os indivíduos, populações, comunidades e ecossistemas. Fiz questão de finalizar com dois capítulos que abordam temas mais aplicados: impactos antrópicos e conservação. Esses capítulos trazem exemplos das teorias discutidas nos capítulos anteriores e propõe uma discussão a respeito da relação homem-sociedade-natureza.

Espero que este material seja de grande valia e utilidade. Espero que vocês terminem as disciplinas de Ecologia sendo capazes de identificar conteúdos compartimentalizados, que por uma questão didática, ainda é o melhor caminho de serem trabalhados. Mas que, acima de tudo, sejam capazes de perceber que na natureza, os processos ocorrem de maneira conjunta e simultânea e que são fundamentais para a qualidade de vida de todos. Sejam cidadãos críticos, sensíveis e conscientes dos seus atos!

Um abraço,
Denise Cruz

CAPÍTULO 1

ECOLOGIA: HISTÓRICO E ESTRUTURA

1 Ecologia: entendendo nossa 'casa'

Até o século XIX, os estudos da biologia como um todo eram basicamente centrados na importância da forma. Os caracteres morfológicos eram os norteadores das funções que os órgãos/organismos exerceriam no meio. A importância da relação entre os seres vivos e entre os seres e o meio ambiente começou a ser discutida com mais atenção por muitos pesquisadores no final do XIX e ganhou maior destaque após o trabalho de Charles Darwin, em 1859, antes mesmo de existir a ideia da Ecologia como ciência.

O termo ecologia foi formalmente proposto por Ernst Haeckel (Fig. 1.1), em 1866, que foi um grande admirador do trabalho de Darwin e em seus trabalhos relacionou a ecologia com a fisiologia e a biogeografia, explicando os padrões de como seria a história natural de alguns organismos.

Figura 1.1. Ernst Haeckel em 1860



Fonte: www.wikipedia.org.

A definição apresentada por Haeckel para Ecologia dizia que é a ciência referente à “economia da natureza, ou seja, a investigação das relações totais dos animais tanto com seu ambiente orgânico quanto com seu ambiente inorgânico; incluindo acima de tudo, suas relações amigáveis e não amigáveis com aqueles animais e plantas com os quais vêm direta ou indiretamente a entrar em contato. Numa palavra, ecologia é o estudo de todas as inter-relações complexas denominadas por Darwin como as condições da luta pela existência”.



O que é Ecologia?

Diante deste histórico, vale ressaltar que a etimologia da palavra ecologia é *oikos* = casa; família e *logia* = estudo. Logo, ecologia é o estudo da relação do indivíduo com outros indivíduos e destes com o meio. É interessante perceber que na definição de Haeckel aparece o termo “economia da natureza”, fazendo um paralelo dos sistemas naturais com o sistema econômico, como a relação entre custo-benefício e a necessidade de alocação de recursos e energia nas atividades. Na natureza os organismos estão sempre buscando realizar suas atividades, gastando menos energia possível.

Já no final do século XIX, a ecologia passou a ser tratada como uma disciplina independente. Começaram a surgir pesquisadores que se dedicavam a esta especialidade, com técnicas e metodologias próprias. Eles se organizavam em sociedades para discussão e, na literatura, começavam a publicar periódicos específicos. Hoje a Ecologia é uma ciência muito ampla, sendo praticada por grandes Universidades e Centros de Pesquisa, que

além de entender o funcionamento dos sistemas naturais, também tentam prever o efeito que a interferência do homem pode provocar, tratando desde de temáticas de ciência básica até questões aplicadas.

A Ecologia tem um campo de atuação bastante largo, podendo se deter às relações existentes entre um organismo e outro, ao funcionamento de um pequeno sistema, como um lago temporário, ou à questões muito amplas, como o efeito do clima na vegetação em escalas globais. Conhecendo o funcionamento dos sistemas naturais, os estudos de Ecologia podem ajudar a entender e prever as consequências da interferência do homem nesses sistemas, como poluição, impactos em ambientes aquáticos, impactos gerados por grandes construções, entre outras. Eles fornecem as bases para as discussões e ajudam na tomada de decisão política em muitas destas situações.

Esse livro se propõe a trazer as questões mais básicas da Ecologia, discutindo como a ecologia pode ser estruturada, seus padrões, mecanismos e hipóteses, suas linhas de atuação e como o homem pode interferir nos sistemas naturais. A Ecologia envolve sempre muitas variantes, por isso, estejam com as mentes abertas para propor idéias e discussões a respeito de qualquer tema.

O que vamos ver ao longo do curso são padrões já conhecidos, mas cada região tem sua peculiaridade e podemos tentar descobri-los na sua região.

Por isso, quanto mais exemplos da sua realidade você puder aplicar nas ideias que vamos discutir, mais você perceberá a Ecologia na sua essência. Não deixe de compartilhar essas ideias!

Vale lembrar que esse é um curso de formação de professores, ou seja, multiplicadores de idéias. E a forma mais eficiente de se multiplicar informações é conhecendo sua realidade. O conhecimento é fundamental para preservação! Espero este seja o norteador dos seus trabalhos, pois só assim será possível atingir o verdadeiro público-alvo que vocês terão: os alunos.

2 Estruturação

A Ecologia pode ser estudada em diferentes níveis. Os níveis mais baixos se unem para formar um sistema mais complexo. Vejamos esses sistemas de maneira crescente:

- Organismo – é a unidade mais fundamental da Ecologia. São os seres que vivem em contato com o meio físico (meio abiótico) e em contato com outros seres vivos (meio biótico). O organismo está em constante troca de energia e matéria e seus objetivos são sobreviver, crescer e reproduzir. Estudando organismos conseguimos entender respostas adaptativas, os diferentes caminhos evolutivos que levaram os indivíduos ao seu local de ocorrência e sua história de vida.

- População – é o conjunto de indivíduos de uma mesma espécie que vive em um mesmo lugar. As populações possuem características próprias, tendo um controle no seu tamanho (relação entre ganho e perda de espécies) e na sua distribuição. Estudos de populações permitem que se entenda os processos e mecanismos envolvidos na sua distribuição e regulação, que podem embasar trabalhos de gestão e conservação.

- Comunidade – é o conjunto de populações de diferentes espécies que vivem em um determinado lugar. Uma comunidade é

regulada pelas relações que são observadas entre as espécies, como dinâmica de presas e predadores, parasitas e hospedeiros, ou relações mutualísticas. Todas estas relações controlam as populações e é muito difícil definir onde uma comunidade começa e onde ela termina. Estudos de comunidades são estudos que ajudam a entender o grau de envolvimento das espécies, suas interdependências e vulnerabilidades.

- Ecossistema – é formado pelas relações entre os organismos e seu meio físico e químico. Ou seja, todo excreta que é eliminado, todo corpo que morre, todo nutriente que entra no sistema e toda energia que é usada, formam o ecossistema. É nesse âmbito que se estudam as ciclagens de nutrientes e o fluxo de energia. É muito difícil definir com precisão as barreiras de um ecossistema, mas da sua estruturação e equilíbrio dependem as comunidades ali encontradas.

- Biosfera – é todo o processo ecológico a nível global, ou seja, a união de todos os ecossistemas (todos os organismos e ambientes juntos). Os ecossistemas estão interligados através dos fluxos de energia, que estão em constante produção, e os ciclos de nutrientes, que nunca são criados, apenas se renovam no sistema.

Os ecólogos podem estudar os sistemas em qualquer um destes níveis, sendo que quanto mais amplo o nível, mais difícil é para isolar e medir seus parâmetros. Percebe-se que as informações obtidas em cada um destes níveis responderão a questões diferentes. Por exemplo, estudar os organismos permite entender seus processos de adaptação ao meio, enquanto estudar comunidades permite descrever sua biodiversidade, seu funcionamento e suas fragilidades. Trabalhos no âmbito da biosfera são muito difíceis, pois envolvem uma série de variáveis difíceis de

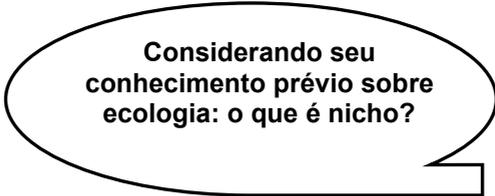
controlar, além de exigirem materiais especializados, como satélites e computadores, e seu custo pode ser bastante alto.

3 Nicho e Habitat

Os organismos estão adaptados ao local onde eles vivem. Por mais que pareça óbvio, é isso que garante o funcionamento de todo sistema. Para contextualizar essa idéia, vamos começar pensando a respeito da obtenção de energia. As diferentes classes de organismos possuem adaptações para garantir a obtenção da sua energia: as plantas realizam a fotossíntese, sintetizando energia luminosa em energia química; os animais são consumidores, tendo que retirar sua energia da alimentação, ou seja, consumindo outros seres; e alguns fungos e bactérias, por exemplo, obtêm sua energia de detritos, matéria em decomposição. Esses organismos possuem características altamente especializadas para realização destas funções. E isso garante que cada um possa explorar uma parcela diferente do ambiente.

Além disso, devemos considerar que cada espécie tem seus limites de tolerância em relação aos fatores abióticos. Um bom exemplo pode ser pensado, quando consideramos que cada espécie suporta um determinado intervalo de temperatura, que uma planta necessita de um espectro de luz específico ou que uma alga só pode viver em um intervalo fixo de pH. Voltaremos a essa questão de maneira mais detalhada no Capítulo 2 deste livro.

A exploração diferenciada dos recursos e a influencia que os fatores do ambiente tem sobre o organismo constituem uma idéia muito importante em ecologia: o nicho ecológico.



Considerando seu conhecimento prévio sobre ecologia: o que é nicho?

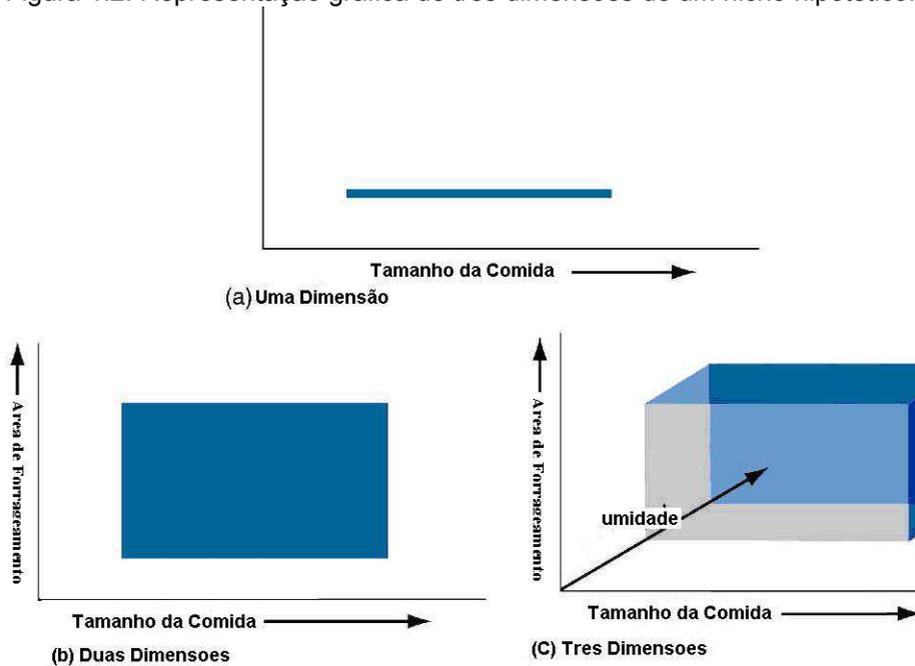
Antes de continuar, pense bem na sua resposta. Compare sua resposta com a definição abaixo e avalie se ela está correta ou não. Coloque essa questão com destaque porque é muito comum as pessoas terem uma definição simplista de nicho. É essencial compreender essa definição corretamente, pois a usaremos em diversos momentos do curso.

O nicho representa o intervalo de condições e recursos que o organismo é capaz de explorar e suportar, ou seja, os recursos dos quais ele necessita e as condições que ele suporta. Essa é a ideia mais atualmente aceita de nicho ecológico e foi proposta por Hutchinson, que dizia que o nicho é constituído por todos os fatores ambientais agindo sobre o organismo. O nicho assim definido é uma região de hiper volume n-dimensional, ou seja, formado por inúmeras dimensões (cada uma das condições ambientais e cada um dos recursos necessários ao seu consumo). A Figura 1.2 exemplifica como poderíamos representar 3 dimensões do nicho de uma espécie: o tamanho do recurso alimentar, o tamanho da área de forrageamento (área de busca por comida) e a umidade. Perceba que com apenas 3 dimensões já há uma grande complexidade na representação gráfica. Quanto mais dimensões são incluídas para construção do gráfico, mais difícil fica para manter a precisão e para podermos visualizar-la essa relação.

Agora, esse é o conceito que você conhecia? Pense em um organismo da sua região. Quantos eixos do nicho desse organismo você consegue identificar? E caracterizar? Foi difícil? Esse exercício envolve uma observação crítica do seu ambiente e que você seja

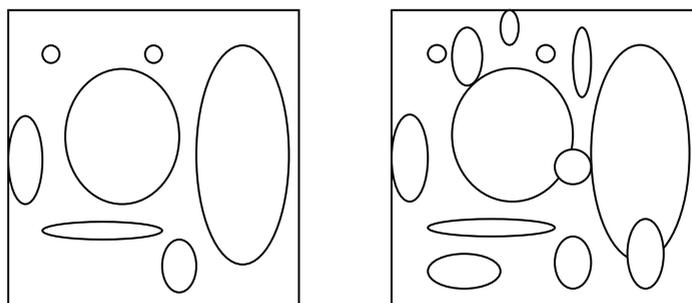
capaz de perceber alguns intervalos climáticos, assim como, estratégias adaptativas. Voltaremos a discutir esse ponto no Capítulo seguinte.

Figura 1.2. Representação gráfica de três dimensões de um nicho hipotético.



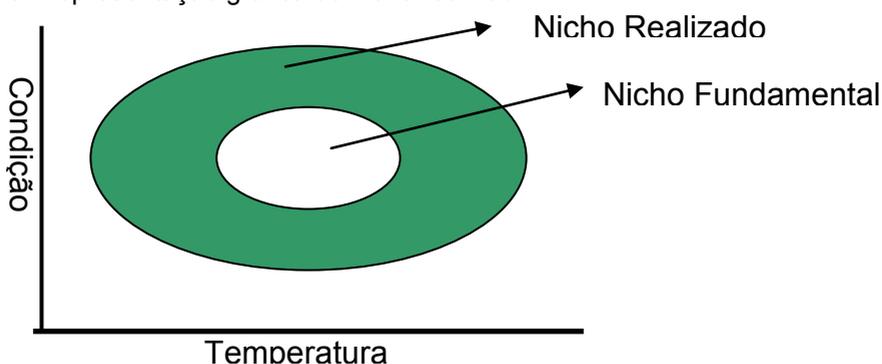
O ambiente apresenta nichos limitados, o que significa que quanto mais espécies na área, maior a "disputa" entre elas (Fig. 1.3). Dois organismos não podem ter o mesmo nicho, ou seja, ter as mesmas exigências e limitações, pois a natureza não suporta esse tipo de compartilhamento e a seleção tende a promover a diferenciação de uma das espécie ou sua exclusão. Perceba que na Figura 1.3, quando há mais espécies, há maior chance de sobreposição entre eles. Voltaremos a discutir bastante sobre esse assunto quando falarmos sobre competição (Capítulo 7) e também quando falarmos sobre biodiversidade (Capítulo 9).

Figura 1.3. Representação gráfica de uma área hipotética, demonstrando a importância do tamanho do nichos para coexistência de diferentes espécies. Nessa representação, cada círculo significa um indivíduo.



As condições em que um organismo pode persistir (sobreviver, crescer e reproduzir) são em geral maiores que as condições em que o organismo realmente vive. Esta redução é causada principalmente devido às interações bióticas. Dois outros conceitos são importantes ao se falar de nicho (Fig. 1.4): o nicho fundamental, que é formado por todas as características do hipervolume de n-dimensões na ausência de outras espécies; e o nicho realizado, que é a porção do nicho fundamental considerando as interações interespecíficas.

Figura 1.3. Representação gráfica do nicho realizado e do nicho fundamental.



Os organismos também possuem uma área de ocorrência, ou seja, ocorrem dentro de um certo limite físico, um espaço definido,

onde eles podem ser encontrados. A área de ocorrência de uma espécie é chamada de habitat. A dimensão de um habitat pode variar muito de tamanho, dependendo do organismo que está sendo considerado. Para um carrapato, por exemplo, o habitat pode ser um cachorro e para um peixe, o habitat pode ser uma grande área do oceano.

4 Como estudar ecologia

Todo trabalho de pesquisa deve seguir um protocolo de investigação que lhe dê credibilidade e que possa ser repetido por qualquer pessoa, respeitando-se as condições aplicadas. O principal protocolo de pesquisa é a metodologia científica, que segue etapas bem definidas: observação de um problema, formulação de uma hipótese, realização de experimentos, obtenção dos resultados e interpretação das conclusões. Esse protocolo para ser considerado como válido deve seguir uma imparcialidade e ser descrito de maneira que possa ser repetido por qualquer pessoa. Estamos aqui pensando em estudos de Ecologia, no entanto, a metodologia científica pode ser aplicada para qualquer ciência, incluindo trabalhos voltados para educação. Por isso, como professores, tenham critérios e estratégias claras e coerentes ao propor projetos de qualquer natureza para serem desenvolvidos em escolas.

Voltando à questão da metodologia científica, inicialmente o pesquisador vê uma questão que lhe desperta interesse, onde há a formulação de um problema, ou seja, a questão que será investigada. A partir daí há a formulação de uma hipótese, que é a fase onde se supõem as explicações para o problema observado. Aqui deve-se usar como base as teorias que poderiam explicar o

problema, o que implica em leitura e embasamento teórico. Passa-se, então para a fase da investigação. Essa etapa, em especial, requer a leitura de uma literatura especializada, que lhe forneça dados para o preparo dos experimentos e um melhor entendimento do sistema. A realização dos experimentos deve ser muito bem pensada, tentando-se controlar o maior número de variáveis possíveis e, sempre, deve haver a realização do experimento controle. O controle é um experimento onde não se testará a variável que está sendo investigada. O experimento controle serve para demonstrar como é o funcionamento real do sistema. A partir dos resultados, obtêm-se os resultados e, a partir, deles as conclusões, que podem corroborar ou refutar a hipótese inicial.

Outra forma de se realizar pesquisas em Ecologia é através da reprodução das condições do ambiente em um sistema menor, chamado de microcosmos. O microcosmo pode ser bastante útil, pois permite a montagem de sistemas no próprio laboratório, o que facilita o estudo e o controle das variáveis, mas exige alto controle das condições. Um bom exemplo de microcosmo é a montagem de um terrário, onde se observa as espécies presentes, seu crescimento e o efeito das variações das condições físicas nas respostas do organismo.

Um último caminho para a realização de trabalhos em Ecologia é a utilização de modelos matemáticos. Esses modelos utilizam dados biológicos, climáticos, geográficos ou de qualquer natureza para prever o efeito de um fator em outro ou o comportamento dos sistemas ao longo do tempo. Essa técnica é muito utilizada para se prever quais áreas sofrerão mais com o aumento da temperatura global, por exemplo. A aplicação de modelos requer um forte conhecimento matemático e de uma base

confiável de dados biológicos (geralmente obtida a partir de trabalhos de ciência básica) e são desenvolvidos em potentes computadores. Ressalto aqui que, apesar de estarmos falando de uma metodologia bastante técnica, não se pode simplesmente acreditar ou ter números com 100% de certeza. Os números só são válidos com as devidas interpretações ecológicas.

5 Evolução e Ecologia

Por que existem tantas espécies de macacos? Por que algumas são mais parecidas do que outras? Por que algumas ocorrem apenas em um lugar, enquanto outras são encontradas em diferentes lugares? Responder estas perguntas significa entender um pouco da história evolutiva, ou seja, quais foram os caminhos, os processos, as modificações e as adaptações que permitiram que uma espécie ocorresse em um local e não em outro. Perguntas como estas percorreram muitos séculos, agitando o pensamento de muitos pesquisadores. Algumas teorias que explicam esses processos evolutivos foram propostas ao longo desse período. Por mais que hoje elas pareçam sem sentido, foram iniciativas de explicar questões muito amplas e com tamanho impacto para o conhecimento científico. Vamos ver duas teorias que tentaram explicar como a evolução acontece:

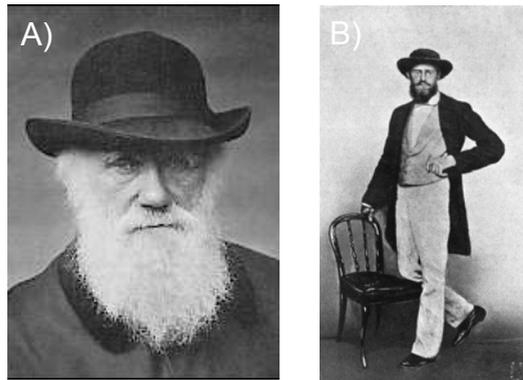
- Criacionismo – teoria ampla que atribui a Deus a criação da Terra, da vida e das espécies. Muito apoiada por religiosos, era muito forte até o século XIX e defende que as espécies teriam sido criadas como são. Existem diversas ramificações do criacionismo, até mesmo os que acreditam na existência de uma árvore filogenética entre as espécies, mas o início e os meios para tal evolução seriam

guiados por Deus. É uma teoria muito discutida até os dias atuais em oposição à teoria da evolução por seleção natural, que é a mais aceita.

- Lamarckismo – Lamarck foi o primeiro pesquisador a tentar explicar cientificamente o processo da evolução em contraposição à teoria do criacionismo. Até esse momento, acreditava-se que as espécies eram imutáveis. A partir das suas pesquisas com moluscos, ele passou a defender a ideia de que as alterações promovidas pelo desenvolvimento ou pela atrofia de algum membro do corpo, seriam passadas para a geração seguinte. O exemplo clássico para explicar a teoria Lamarckista é sobre o tamanho do pescoço da girafa, que teria crescido em resposta à necessidade de se alimentar em árvores mais altas, passando essa nova característica às gerações seguintes. Logo, o uso e o desuso dos membros seriam responsáveis pelas suas modificações, e estas seriam transmitidas geneticamente. O biólogo Augusto Wiessman refutou essa teoria, ao realizar um experimento cortando os rabos de ratos e, mesmo assim, seus filhotes continuavam nascendo com rabos.

A teoria mais aceita atualmente foi desenvolvida, em paralelo, por dois importantes pesquisadores: Charles Darwin (Fig. 1.4A) e Alfred Wallace (Fig. 1.4B). Ao perceberem que trabalhavam na mesma ideia eles acabaram fazendo um anúncio conjunto num evento muito importante da época, o encontro da *Linnean Society of London*, em 1858. No ano seguinte, Darwin publicou seu tão famoso livro: “A Origem das Espécies”, com toda teoria em detalhes. É interessante porque os dois trabalhavam com princípios da ecologia, mesmo antes do termo ser proposto.

Figura 1.4. A) Charles Darwin, em 1880; B) Alfred Russel Wallace.



Fonte: www.wikipedia.org

Darwin acreditava que os seres vivos possuem grande capacidade de reprodução e o que os eventos de morte controlam a densidade de suas populações. Vale lembrar que no mesmo período Malthus, importante economista da época, fazia alardes a respeito do crescimento populacional descontrolado (crescimento em velocidade exponencial) e seu impacto na disponibilidade de comida (crescimento em velocidade geométrica) (Teoria Populacional Malthusiana).

Qual a relação entre a taxa de reprodução e a evolução? Darwin percebeu que os organismos não são idênticos dentro de uma população e sua capacidade de reprodução também não é a mesma para todos os indivíduos. Desse modo, características herdáveis seriam transmitidas através das gerações, sempre de maneira desigual, garantindo a existência de uma variabilidade na população. Além disso, os indivíduos capazes de deixar descendentes são aqueles que possuem genes mais aptos, ou seja, que trazem mais benefícios para a sobrevivência em determinado habitat. A seleção natural garante a sobrevivência dos mais aptos e essa característica é passada para as próximas gerações, de modo

que os filhotes também tendem a ter genes mais aptos e mantendo essa característica selecionada na população. Esse processo ocorre ao longo de muitas gerações e permite fixar as características vantajosas para a população e a excluir as prejudiciais, uma vez que os menos aptos vão deixando cada vez menos descendentes e tendendo a exclusão.



<https://bestupid.files.wordpress.com/2011/06/imagem21.jpg>

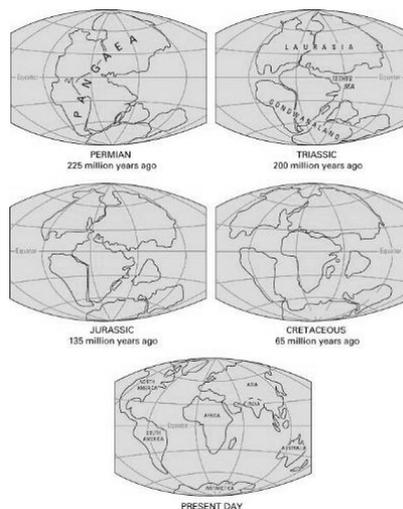
Perceba que essa teoria tem três premissas: variabilidade genética, capacidade reprodutiva e hereditariedade e a ação da seleção natural. Destas três, apenas a variabilidade genética é obtida ao acaso, dependendo de mutações e recombinações gênicas. As outras ocorrem no sentido de garantir que os organismos mais aptos permaneçam no ambiente. Apesar disso, não podemos dizer que há um destino final para a evolução, pois toda seleção depende do meio.

Mas, por que entender evolução ajuda a entender a ecologia?

Os processos ecológicos estão envolvendo organismos, populações, comunidades e todo o ecossistema. Com exceção do meio abiótico, que não depende dos organismos, todos seres bióticos só permanecem no meio se tiverem aptos a sobreviver, crescer e reproduzir. Os caminhos para a realização dessas atividades, pensando do ponto de vista individual e das constantes interações entre as espécies, são resultados do processo de seleção. Desse modo, entender o processo de seleção ou como ocorreu a seleção de determinadas características permite entender como ocorrem os padrões ecológicos.

Eventos temporais e geográficos podem influenciar nesse processo. Toda vez que o meio muda, a pressão de seleção muda, e novos caracteres podem ser selecionados. A separação geográfica (Fig. 1.5), é um fator potencial para a diferenciação de espécies. No caso da separação de uma população por qualquer razão (como mostrado na Fig. 1.5), a seleção dos caracteres pode ocorrer de maneira diferente em cada população, originando às novas espécies.

Figura 1.5. Movimento das placas tectônicas ao longo das eras geológicas. Repare que os continentes eram originalmente unidos.



Fonte: www.sobiologia.com.br

É difícil imaginar, hoje, uma nova cadeia de montanhas surgindo de repente. Mas, lembre-se que a superfície da Terra está em movimento, lento, porém constante. Esse processo de alteração da superfície leva de milhares a milhões de anos. O processo de especiação também ocorre de maneira lenta, dependendo de centenas a milhares gerações. Essa é a história da geografia do nosso planeta: o movimento das placas tectônicas modificou muito a superfície, isolando algumas áreas e possibilitando a comunicação de outras (Fig. 1.5).

Desse modo, alguns organismos puderam ocupar uma maior área, enquanto outros tiveram suas áreas de vida reduzidas, caracterizando a biota dos diferentes continentes. Uma prova do efeito desse movimento são as espécies filogeneticamente próximas, mas que ocorrem em áreas geograficamente muito distantes, como dois continentes diferentes. Um exemplo é a distribuição das grandes aves não voadoras, como a ema e o avestruz, que apesar de filogeneticamente aparentadas, não ocorrem na mesma região. Certamente, elas tiveram um ancestral comum que ocupava todas as regiões continentais antes da deriva dos continentes. Com a separação das placas tectônicas, elas acabaram se isolando reprodutivamente e adquirindo características adaptativas referente aos locais onde ocorrem atualmente.

Um exemplo de menor escala, pode ser a população de uma espécie de roedor, que acabou sendo dividida por um grande rio ou uma cadeia de montanhas. Com o passar do tempo, as condições das áreas que as populações divididas ocupam podem ser diferentes, exigindo diferentes adaptações para cada lado. Deste modo, as características que serão fixadas em uma população serão

diferentes das características que serão fixadas na outra, resultando em organismos diferentes, com características genéticas diferentes.

6 Mas o que é uma espécie?

Essa é uma questão muito discutida, com diferentes definições. O conceito mais comum diz que uma espécie é formada por indivíduos semelhantes entre si, que podem reproduzir e gerar descendentes férteis. No entanto, o que dizer quando indivíduos de espécies diferentes cruzam e geram descendentes, os chamados híbridos? Seria uma falha da evolução? Na verdade, esse é um campo de intensa discussão, onde trabalhos são continuamente publicados.

A hibridização pode indicar que o processo de diferenciação entre as espécies não está completo (ainda há fluxo gênico entre elas), mas que a seleção já promoveu algumas diferenças importantes. Pode parecer um processo estranho e raro de acontecer, mas na verdade acontece com bastante frequência, como na reprodução de plantas que compartilham polinizadores. É o que acontece quando duas espécies de bromélias estão com flores ao mesmo tempo e ambas recebem a visita de um mesmo beija-flor. O polinizador pode carregar o pólen de uma para a outra e vice-versa, possibilitando a formação de um híbrido, caso elas não tenham barreiras reprodutivas. Esse híbrido pode apresentar características intermediárias entre as duas espécies.

Aplicando seu Conhecimento

exercite
sua mente



1 - Elabore um roteiro de pesquisa que contenha uma questão problema, uma hipótese e as possíveis maneiras de testá-la.

2 - O texto explica a teoria de Lamarck através do exemplo do pescoço da girafa. Como o pescoço da girafa poderia ser explicado através da teoria da evolução de Darwin?

3 – Pesquise outros conceitos de espécie, diferentes do apresentado no texto.



Uma maneira interessante de trabalhar essas questões básicas de ecologia é treinar a capacidade de observação o aluno. Ao discutir questões sobre nicho e habitat ou estrutura da ecologia (organismo, população, comunidade e ecossistema) escolha um organismo ou uma área da sua região e trabalhe junto com os alunos esses conceitos, exemplificando de uma maneira contextualizada.

CAPÍTULO 2

RESPOSTAS ADAPTATIVAS: O EFEITO DE CONDIÇÕES E RECURSOS

1 Em quais lugares eu posso encontrar um cacto?

Um dos principais objetivos dos trabalhos em Ecologia é determinar porque algumas espécies ocorrem em alguns lugares e não em outros, porque algumas são endêmicas e raras e outras abundantes e de ampla distribuição. Não existe nenhuma espécie que seja capaz de ocupar todos os lugares do planeta, porque elas estão adaptadas às condições específicas e necessitam de determinados recursos. E as condições e os recursos não são iguais em todo planeta. Então, qual a diferença entre condição e recurso?

Condição pode ser entendida como todas as características físicas e químicas do ambiente, como temperatura, umidade, pH, pressão. As condições não podem ser consumidas por um organismo, mas eles podem interferir em algumas, como a umidade (muitas plantas podem aumentar a umidade através da evapotranspiração) ou o pH (organismos unicelulares podem alterar o pH ao redor de suas células através das atividades celulares e liberação de metabólicos).

Recurso é tudo aquilo que o organismo pode consumir e é essencial para seu crescimento, manutenção e reprodução. Podemos falar então que frutos são recursos usados para alimentação, uma região é um recurso usado como área de vida, o oxigênio é um recurso essencial para respiração, dentre muitos outros exemplos. Determinar todos os recursos que uma espécie

necessita, assim como aferir os intervalos de condições suportadas por ela, é uma tarefa muito difícil, mas o total desses recursos e os intervalos das condições influenciam a determinação o seu nicho (lembra-se da unidade anterior?).

Aproveite para rever o conceito de nicho, pois este conhecimento será essencial em vários momentos da disciplina.

Cada espécie necessita consumir uma amplitude de recursos para sua sobrevivência e suporta determinadas condições ambientais. Esses dois fatores definirão sua área de distribuição. Por exemplo, as características de um cacto indicam que seu habitat inclui regiões quentes e secas. Por isso, suas adaptações são para resistir a estas condições e explorar, da melhor maneira possível, os recursos necessários à sua sobrevivência. Desse modo, podemos afirmar que será muito difícil encontrar um cacto na região da Antártica!

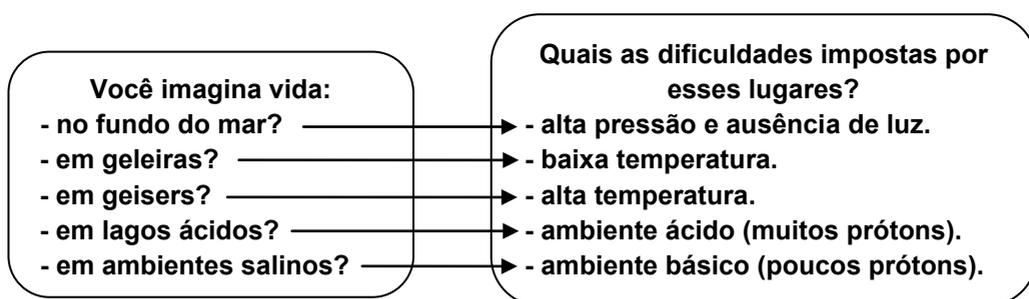
Como os recursos e as condições influenciam os organismos? Veremos alguns padrões gerais a respeito das condições e dos recursos e as adaptações selecionadas como resposta a essas variáveis.

2 Condições

Discutiremos a influência das principais condições no modo de vida dos organismos. É importante ter em mente que os organismos percebem e respondem ao ambiente de maneira diferente, então as condições ambientais vão ter efeitos diferenciados, dependendo do

organismo que está sendo estudado. Por exemplo, se eu pergunto o que você acha da temperatura do Ártico, acredito que você responderá que é um frio extremo. É até difícil imaginar viver nesse ambiente. No entanto, nesta região são encontrados os ursos polares, altamente adaptados à esta temperatura. Para esses ursos, viver em uma região tropical, com alta temperatura, como a Paraíba, é um verdadeiro estresse. E se você pensar com cuidado poderá encontrar milhares de exemplos como este. Você acha que as plantas que são encontradas na sua região sobreviveriam na região sul do nosso país? Muitas não conseguiriam, pois as condições ambientais são completamente diferentes. Então, a partir de agora, quando você disser que alguma condição é extrema ou favorável, veja se não está sendo influenciado pela sua concepção, sua relatividade.

2.1 Extremófilos



Partindo da ideia de que o ambiente extremo depende do ponto de vista do organismo que vive nele, falaremos de um grupo específico de organismos que vivem em locais onde acharíamos quase impossível encontrar vida. Todos esses organismos que vivem muito acima ou muito abaixo de uma média de condições podem ser tratados como extremófilos (para qualquer condição considerada).

É possível tanto encontrar organismos, como bactérias, que vivem a -20°C , quanto arqueobactérias que vivem e se reproduzem a 105°C , em áreas termais, ou ainda microalgas que vivem em ambientes altamente halófilos. Apesar dos extremófilos serem organismos unicelulares, não há uma relação filogenética entre eles. No entanto, eles podem ser classificados segundo as adaptações que apresentam (para uma revisão detalhada ver SANTOS *et al.*, 2001):

1. Termófilos e hipertermófilos: são os extremófilos adaptados à ambientes com altas ($55-80^{\circ}\text{C}$) e altíssimas (acima de 80°C) temperaturas. São encontrados em fossas oceânicas (saídas de vulcões) e geisers. Possuem adaptações para evitar o maior problema da alta temperatura: a desnaturação de proteínas. Suas proteínas possuem estruturas mais rígidas e enzimas específicas para garantir o dobramento correto das proteínas. Além disso, possuem mecanismos para o reparo do DNA.

2. Psicrófilos: são aqueles adaptados a viver em ambientes de temperatura extremamente baixas, como geleiras, maior parte do fundo do mar e ambientes congelados em montanhas. Nesse caso, o maior problema é que o congelamento da célula pode causar rompimento da membrana e morte. Por isso, esses organismos possuem moléculas anticongelantes no seu citoplasma, além de possuir membrana rica em ácidos graxos e, por isso, mais fluida.

3. Halófilos: são encontrados em ambientes extremamente salinos. O problema do ambiente salino são os íons que alteram a pressão osmótica da célula. Desse modo, esses organismos possuem mais íons (K^+ , Na^+ , Cl^-) no seu interior e, conseqüentemente, adaptações em algumas organelas celulares, como os ribossomos.

4. Acidófilos e Alcalófilos: esses organismos são encontrados em ambientes muito ácidos, como lagos vulcânicos e minas, ou ambientes muito básicos, como mares e lagos muito salinos. Para garantir o balanço correto de prótons intracelulares, suas células possuem uma forte regulação da entrada/ saída de prótons via membrana celular.

5. Radioresistentes: São aqueles encontrados em locais com alta taxa de radioatividade. A maior dificuldade são as alterações que isso pode causar no DNA, logo suas adaptações envolvem mecanismos reparadores de DNA extremamente eficientes.

Os estudos que investigam os extremófilos, sua biologia e adaptações vem crescendo em alta velocidade, principalmente por causa do seu potencial biotecnológico. Descobrir e isolar as enzimas capazes de agir em altas temperaturas ou em ambientes com variações de pH, por exemplo, pode ter grande importância para indústrias farmacêuticas, alimentares, têxteis, entre outras. Esses organismos tem grande potencial econômico!

2.2 Temperatura

A temperatura é uma condição de extrema importância porque ela afeta diretamente a função de muitas enzimas: em altas temperaturas, muitas enzimas e proteínas desnaturam, perdendo sua forma e função. Já em temperaturas muito baixas elas retardam ou até paralisam o seu funcionamento. Vimos que existem organismos adaptados a viver nessas condições (termófilos), mas consideraremos agora os organismos que vivem em um intervalo

mais confortável para a maioria dos organismos (de 0 a 40° C), os mesófilos.

Assim como para qualquer outra condição, os organismos possuem intervalos suportáveis de temperatura. Os extremos desse intervalo, seja para cima ou para baixo, causa morte. Ao sair do extremo, há uma variação na resposta, sendo que o organismo consegue sobreviver próximo do extremo, crescer ao se aproximar de um intervalo mais confortável e reproduzir, quando a condição atinge seu ideal. Apenas do intervalo ideal da condição é que o organismo consegue realizar as três respostas fisiológicas: sobreviver, crescer e reproduzir.

Um estudo demonstrou que a rã-touro (*Rana catesbeiana*) apresenta a mortalidade, o consumo de alimento e o ganho de peso influenciados pela variação da temperatura. Para essa espécie, a melhor faixa de temperatura fica entre 25,1 a 30,4° C (Tab. 2.1). Isso ocorre porque a 20° C ocorre uma mudança comportamental termoregulada, induzindo os indivíduos a permanecerem mais tempo em abrigos e a se alimentarem menos (BRAGA e LIMA, 2001).

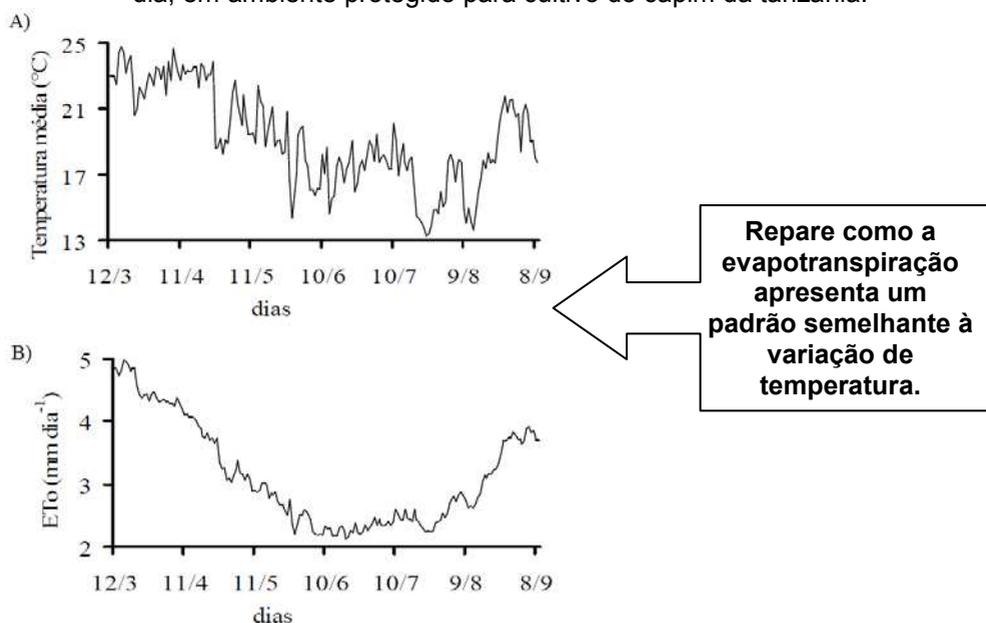
Tabela 2.1. Valores médios de desempenho e taxa de mortalidade da rã touro submetida a três temperaturas do ambiente.

Item	Temperatura das baias (°C)			CV (%)
	<i>Box temperatures</i>			
	20	25	30	
Ganho de peso (g)	32,48	52,62	52,54	9,99
Consumo de ração (g)	41,70	69,15	65,81	9,39
Cons. de larva mosca ¹ (g)	4,72	6,74	7,78	7,18
Consumo de alimento (g)	46,42	75,89	73,59	9,45
Conversão alimentar	1,43	1,46	1,40	9,45
Taxa de mortalidade (%)	13	10	14	6,99

Fonte: Adaptado de BRAGA e LIMA, 2001.

Para as plantas, a alta temperatura pode ser um problema, pois ela acelera a evapotranspiração, que é o processo de perda de água pela folha, uma vez que a planta está constantemente retirando água do solo e eliminando na forma de vapor d'água. Desse modo, quanto maior a temperatura, maior tende a ser a evapotranspiração. Um trabalho avaliando o efeito da irrigação na produção do capim da tanzânia (*Panicum maximum*) demonstrou que a evapotranspiração responde à variação da temperatura do ambiente (Fig. 2.1) e que a produtividade está diretamente relacionada com a frequência da irrigação, de modo que, a menor produtividade foi obtida com uma intensidade de 50% (Tab. 2.2).

Figura 2.1. Temperatura média diária e evapotranspiração de referência em um dia, em ambiente protegido para cultivo do capim da tanzania.



Fonte: Adaptado de CUNHA *et al.*, 2008.

Tabela 2.2. Valores médios (\pm desvio padrão) de produtividade de matéria seca (MS) para diferentes freqüências de irrigação.

Freqüência de irrigação (dias)	Nível de irrigação (%)		
	50	75	100
1	94,9 \pm 1,6 Ac	107,9 \pm 4,2 Ab	129,5 \pm 6,9 Aa
4	80,6 \pm 2,2 Bc	99,5 \pm 6,2 Bb	115,2 \pm 3,8 Ba
7	73,1 \pm 2,3 Cc	94,6 \pm 4,0 Bb	121,1 \pm 2,6 Ba

Para a freqüência de irrigação, médias seguidas por mesma letra maiúscula, e para o nível de irrigação, médias seguidas por mesma letra minúscula, não diferem entre si, pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

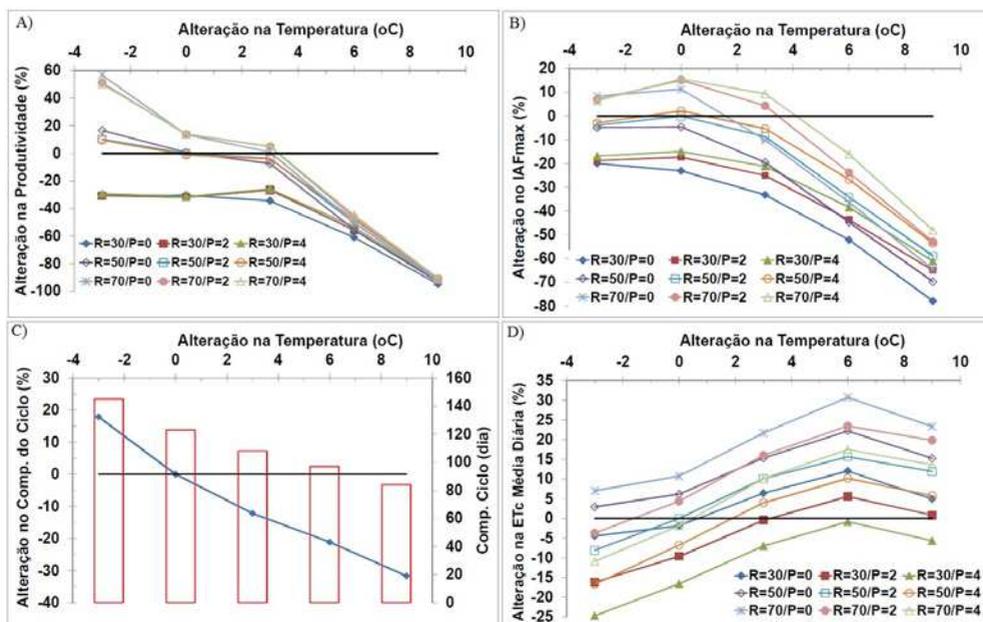
Há mais biomassa quando há mais água.

Fonte: Adaptado de CUNHA *et al.*, 2008.

O efeito da temperatura pode influenciar diversas respostas metabólicas nos organismos. No milho (*Zea mays*), uma simulação demonstrou que a variação da temperatura do ar provocou diversas respostas negativas, pois foi verificada a redução na sua produtividade, o aumento da evapotranspiração média diária, a redução do ciclo de vida e a redução do índice de área foliar máximo da cultura (Fig. 2.2). Todos os parâmetros indicam uma redução no crescimento e na qualidade da planta. Avaliando ainda a capacidade radicular dessas plantas, os autores viram que, o incremento de 0,20 m de profundidade do sistema radicular pode mitigar o efeito da temperatura para um aumento de até 3°C (SILVA *et al.*, 2014). Isso significa que mais raiz pode ir em busca de novas fontes hídricas, caso elas estejam disponíveis no meio.

Aqui vimos exemplos da influência da temperatura em um animal e em uma planta, mas essas influências são perceptíveis em muitos outros organismos. A variação de temperatura tem um efeito importante na fisiologia dos organismos e pode influenciar fortemente sua sobrevivência, crescimento e reprodução.

Figura 2.2. Efeito da variação da temperatura na A) produtividade, B) índice de área foliar, C) ciclo de vida e D) evapotranspiração média do milho com diferentes profundidades do sistema radicular (R) e palhada na superfície do solo.



Fonte: Adaptado de SILVA *et al.*, 2014.

Se as plantas estão localizadas em um ambiente com alta umidade, a evapotranspiração pode ser compensada por uma rápida absorção de água pela raiz. Espécies de clima muito quente tiveram adaptações selecionadas para combater o problema da falta de água ou reduzir a sua perda para o meio, uma vez que a água é essencial para o funcionamento do organismo. Essas plantas podem ter a redução no número de folhas, aumento da produção de espinhos, ceras recobrendo as folhas e processos fotossintéticos especiais: CAM ou C4. Na fotossíntese do tipo CAM (Mecanismo do Ácido Crassuláceo), a captação do CO₂ ocorre durante a noite, para evitar abrir os estômatos durante o dia e perder mais água com o calor. Já na fotossíntese do tipo C4, os estômatos abrem durante o dia para a captação do CO₂, mas rapidamente se fecham, para diminuir a perda de água. A fotossíntese que normalmente ocorre em plantas sem

restrições hídricas, é a do tipo C3, quando os estômatos ficam abertos de maneira permanente. As características adaptativas para locais secos são encontradas em plantas da caatinga, que é uma região de clima quente e seco. Um excelente exemplo são os cactos.

Quando tiver oportunidade, repare as características foliares das plantas da caatinga. Observe com atenção e toque nas folhas, que você pode perceber muitas destas adaptações.

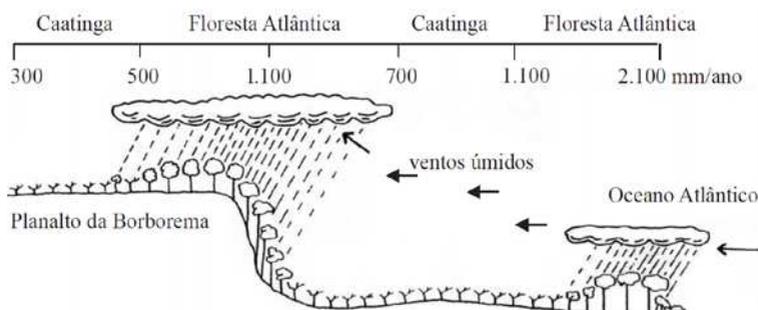
2.3 Umidade

A umidade está muito relacionada com a temperatura, pois quanto maior a temperatura, maior a evaporação e, conseqüentemente, maior será a umidade do ar. No entanto, outros fatores influenciam as taxas de umidade do ar, como por exemplo, o relevo. Regiões localizadas atrás de grandes cadeias de montanhas (sotavento) recebem menos pluviosidade originada das regiões de costa, porque quando o vento sobe para atravessar as montanhas, alcança uma área de menor temperatura, o que acaba resultando em precipitação (retém menos umidade).

A tendência é que a região exposta ao vento (barlavento) tenha alta pluviosidade. Quando o vento atravessa a montanha, ele está mais quente e absorve mais umidade, causando dessecação e uma chuva menos intensa, bastante característica e chamada de chuva orográfica. A região dos brejos nordestinos passa por esse fenômeno, e por isso, acaba sendo uma região de fitofisionomia (floresta Atlântica) e diversidade diferenciadas dentro de um domínio conhecido por ter baixa pluviosidade, a região semi-árida. A região

de brejo está localizada na frente de planaltos e chapadas entre 500 - 1.100 m altitude (como, a Borborema, a Chapada do Araripe, a Chapada de Ibiapaba) (Fig. 2.3), onde as chuvas orográficas garantem níveis de precipitação superiores a 1.200 mm/ano (TABARELLI e SANTOS, 2004).

Figura 2.3. Perfil esquemático dos brejos de altitude no Nordeste do Brasil.



Fonte: Adaptado de TABARELLI e SANTOS, 2004.

Outro fator que afeta a umidade é a presença de grandes florestas. As árvores absorvem a água do solo e eliminam na forma de vapor, influenciando a umidade atmosférica do local. Vimos anteriormente que a temperatura influencia na evapotranspiração, logo, com mais água no solo, mais eliminação de vapor ocorre pelas folhas. Vale lembrar que a água do solo é resposta direta a precipitação, mostrando mais uma vez a ligação que existe entre essas condições.

2.4 Correntes e Pressões

Em ambientes terrestres, as correntes de vento alteram a fisionomia, não permitindo que grandes árvores sejam encontradas

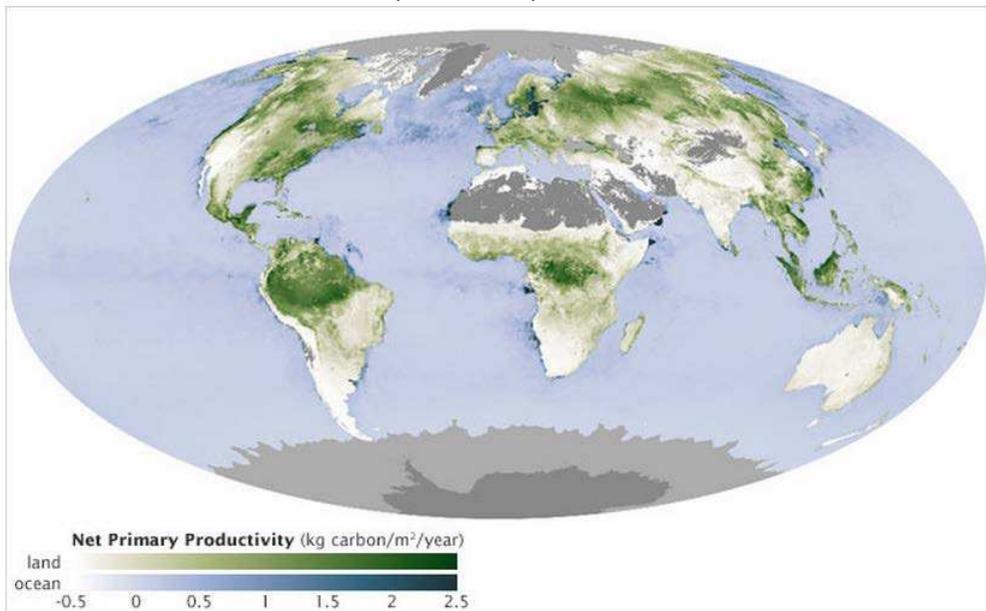
em áreas com fortes correntes, além de alterar o comportamento de animais em dias com muitos ventos.

Em ambientes aquáticos, podemos identificar efeitos diferenciados em águas doces e em águas salgadas. Em ambientes dulcícolas, podemos identificar regiões onde as águas dos rios correm mais rapidamente (ambientes lóticos) e onde elas correm mais lentamente (ambientes lênticos). Devido à diferença na velocidade da água, a ocorrência dos animais, a disponibilidade de nutrientes e a disponibilidade de oxigênio encontrados nas duas regiões possuem características distintas. Em ambientes lóticos há mais oxigênio, menos nutrientes e menos animais. Já em ambientes lênticos é o contrário. Em ambientes marinhos, as correntes influenciam diretamente a disponibilidade de nutrientes e gases de uma região.

De um modo geral, os oceanos possuem poucos nutrientes em suspensão e baixa taxa de fotossíntese, principalmente em áreas distantes da costa. Entretanto, há regiões onde as correntes marinhas realizam um movimento do fundo em direção à superfície, proporcionando uma mistura de água importante e uma alta disponibilidade de nutrientes. Desse modo, a produtividade é favorecida, mesmo distante da costa e essas regiões são chamadas de áreas de ressurgência (Fig. 2.4).

A ressurgência garante que haja maior disponibilidade de nutrientes para o fitoplâncton, possibilitando maior produção de energia. Com mais energia no meio, há a possibilidade de uma maior cadeia alimentar, o que torna essas áreas, do ponto de vista do homem, importantes para pesca e economia local. É comum encontrar grandes empresas pesqueiras instaladas em regiões de ressurgência.

Figura 2.4. Distribuição global da produtividade primária em ambientes terrestres e aquáticos no planeta.



Fonte: GOUGH, 2011.

A pressão é um fator que impõe muita tolerância aos organismos que o suportam. Ao nível do mar, a pressão é de uma atmosfera e como nossa pressão interna é também em torno disso, não sentimos seus efeitos. Assim, como a pressão tende a diminuir conforme aumentamos de altitude (no Brasil a pressão é maior do que na Bolívia), ela também tende a aumentar conforme mergulhamos, de modo que há o aumento de uma atmosfera a cada dez metros. Locais de baixa pressão possuem ar rarefeito, ou seja, com pouco oxigênio. Já em grandes profundidades, a pressão tende a diminuir o volume dos gases, o que exige adaptações importantes, na fisiologia de animais que mergulham. Isso porque na superfície eles estão sujeitos a uma pressão diferente da que recebem no fundo. Muitos animais reduzem a pressão dos gases circulantes no sangue para evitar a embolia ou até mesmo o rompimento de um órgão.

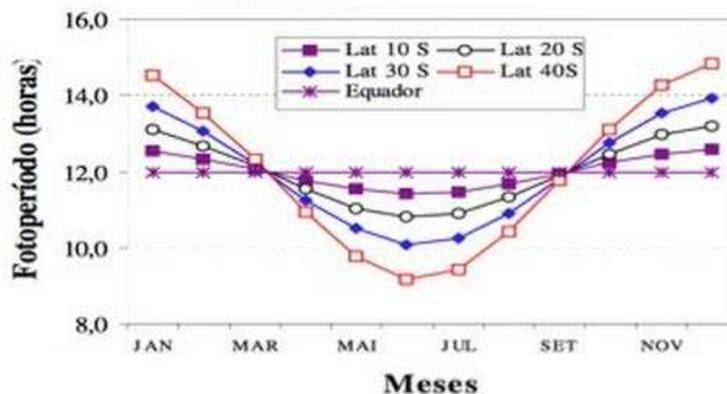
3 Recursos

Recordando, recursos compreendem todos os itens que podem ser consumidos pelos organismos, como alimentos, água, nutrientes, espaço, parceiro sexual, entre outros. A disponibilidade de recurso no meio promove uma grande influencia na distribuição dos organismos assim como nas suas interações. Falaremos de alguns recursos importantes.

3.1 Luz

A radiação solar que chega à Terra não é igual em todos os pontos do planeta e nem durante todo o ano. Os pólos recebem menos radiação do que as regiões tropicais e durante o inverno também há menos radiação do que durante o verão (Fig. 2.5). A quantidade luz durante o dia é chamada de fotoperíodo.

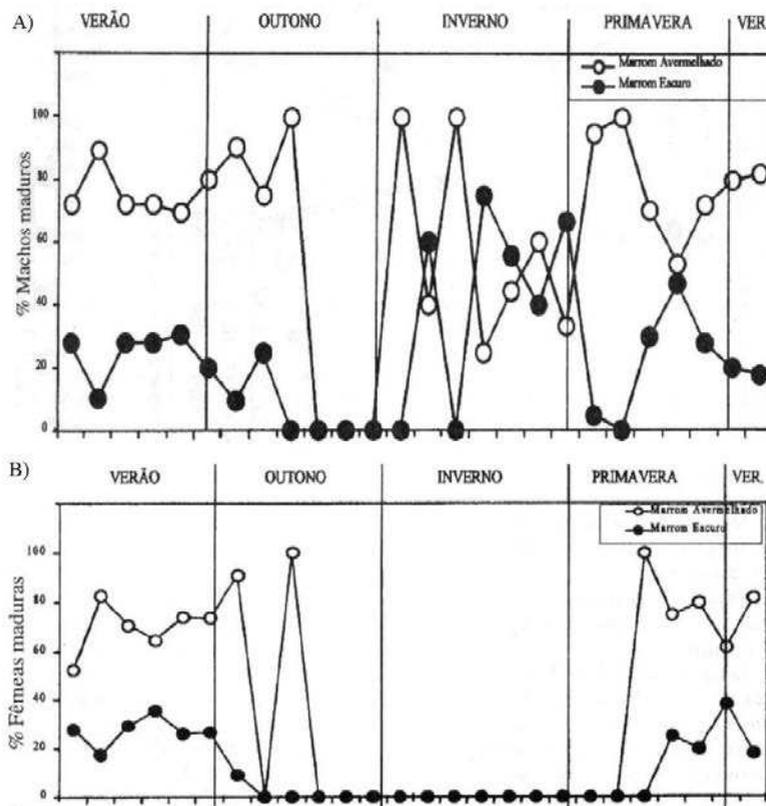
Figura 2.5. Variação do fotoperíodo (horas de luz/ dia) ao longo do ano em diferentes latitudes do planeta.



Fonte: <http://para-fisica.blogspot.com.br/2013/01/do-chao-para-o-ceu-o-relogio-solar-e-as.html>

O fotoperíodo é um importante regulador de muitos mecanismos fisiológicos, como a hibernação de muitos animais que é induzida durante o inverno, quando o dia é mais curto. O percevejo-marrom (*Euschistus heros*) é uma espécie influenciada pela variação do fotoperíodo ao longo do ano (MOURÃO e PANIZZI, 2000). Dos animais desta espécie acompanhados no Paraná, 90% apresentaram estágio reprodutivo no verão, enquanto, no outono/inverno, até 87% apresentou diapausa (Fig. 2.6).

Figura 2.6. Porcentagem de A) machos e B) fêmeas de percevejo-marrom em diferentes estágios reprodutivos ao longo do ano em Londrina, PR.

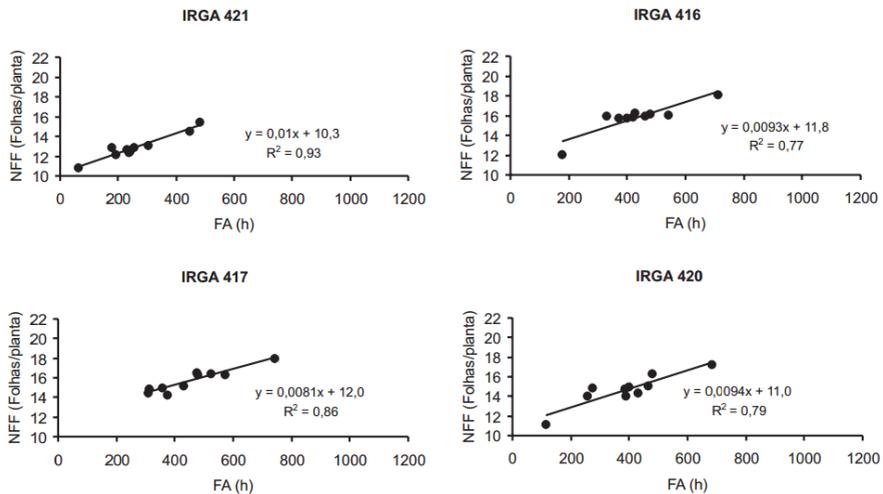


Fonte: Adaptado de MOURÃO e PANIZZI, 2000.

As plantas também respondem a variação de fotoperíodo, que pode influenciar desde emissão foliar até o período de floração.

Desse modo, em geral, quando se tem o aumento do fotoperíodo (durante a primavera e o verão), muitas espécies são induzidas a reproduzir, pois os dias são mais longos. Um trabalho investigando algumas variedades de algodão identificou que todas as variedades são influenciadas pelo fotoperíodo (Fig. 2.7), no entanto, com diferentes intensidades entre eles (STREK *et al.*, 2006).

Figura 2.7. Efeito do fotoperíodo na produção da folha do colmo principal (NFF) de diferentes cultivares de plantas de arroz.



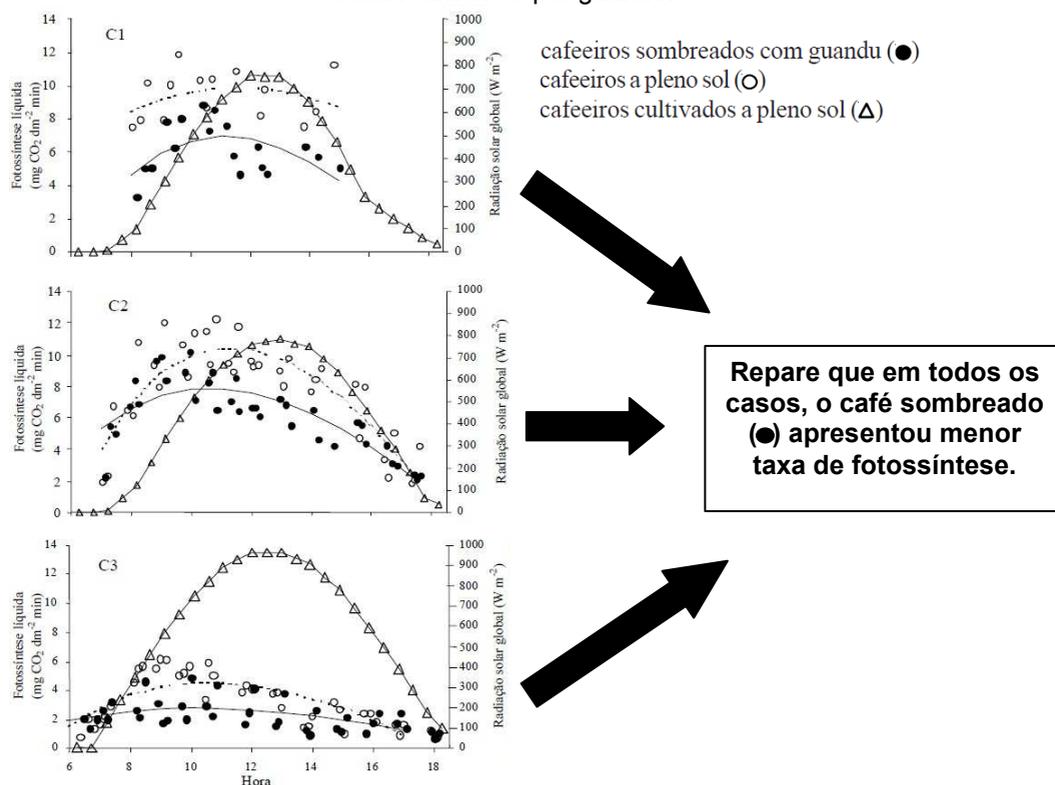
Fonte: Adaptado de STRECK *et al.*, 2006. Estão sendo demonstrados menos cultivares do que os testados no trabalho.

A luz é fundamental para que ocorra fotossíntese, por isso é um fator essencial para as plantas. Em áreas de florestas muito altas, como a Amazônia, a baixa intensidade luminosa nos estratos mais baixos da floresta limita a ocorrência de espécies vegetais e as plantas encontradas costumam ter folhas maiores e maior capacidade de absorver diferentes espectros luminosos, para aproveitar o máximo da luz que chega até o solo.

Experimentos já demonstraram que cafeeiros (*Coffea arabica*) sob sombreamento de guando (*Cajanus cajan*), transpiram menos,

realizam menos fotossíntese, tem menor crescimento em altura e folhas com menor acúmulo de biomassa (Fig. 2.8). Essa informação é de extrema importância para produtores, uma vez que o sombreamento afeta drasticamente a fisiologia e morfologia da espécie (MORAIS *et al.*, 2003).

Figura 2.8. Fotossíntese líquida do café ao longo do dia em função de diferentes sombreamentos por guandu.

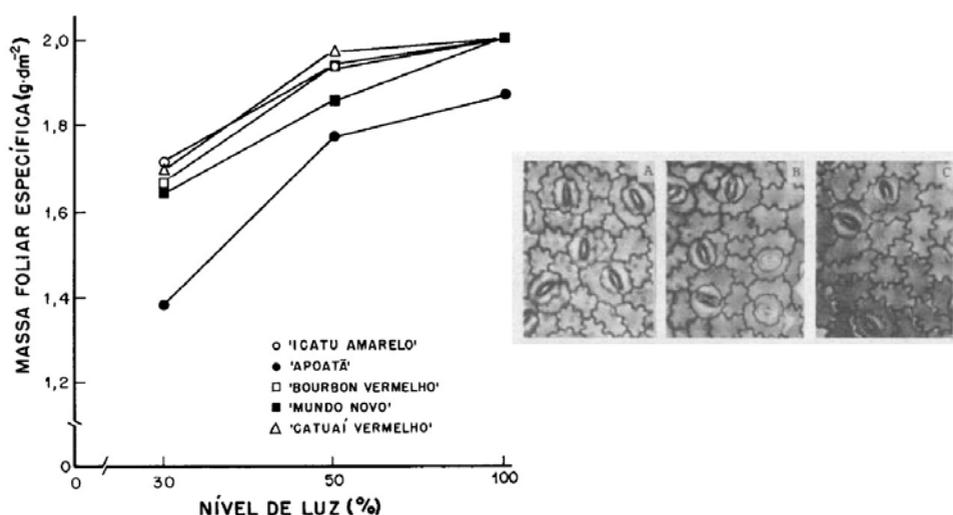


Fonte: Adaptado de MORAIS *et al.*, 2003.

Algumas plantas que ocorrem tanto em regiões de sombra quanto em regiões de sol, possuem adaptações às diferentes intensidades luminosas. Por exemplo, uma mesma espécie de bromélia, pode ter folhas grossas e pequenas quando está no sol e folhas mais finas e largas, quando está na sombra, como adaptação a diferença de radiação que ela recebe. Em folhas de cultivares de

café (*Coffea arabica*) também observa-se um espessamento foliar promovido, principalmente, pela expansão das células do mesófilo e no aumento de estômatos, quando expostos a maior intensidade luminosa (Fig.2.8).

Figura 2.8. Influência de diferentes níveis de luz na massa foliar de cinco cultivares de café. Foto demonstrando o aumento no número de estômatos presentes no cultivar "Mundo Novo".



Fonte: Adaptado de VOLTAN *et al.*, 1992.

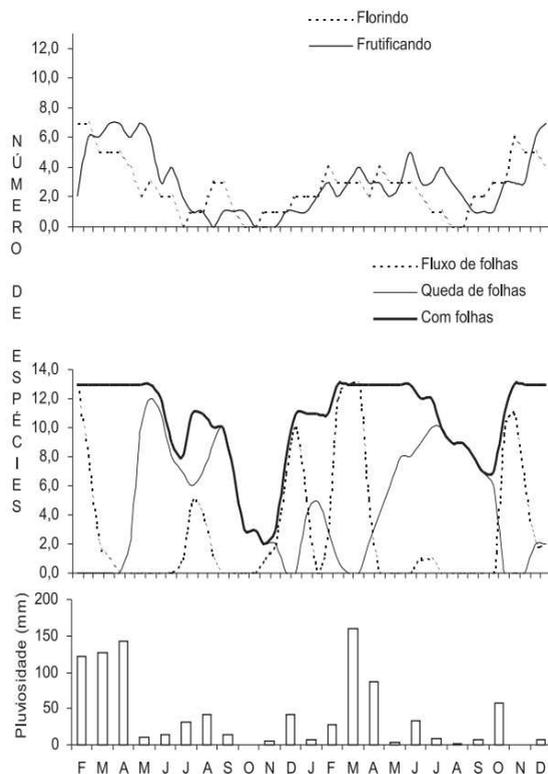
3.2 Água

A água é um componente essencial para a vida, estando envolvida na maioria dos processos fisiológicos. Em ambientes terrestres, sua disponibilidade é garantida através da chuva e das características físicas e químicas do solo. Em locais onde há seca prolongada é comum encontrar plantas chamadas de caducifolias, pois elas perdem suas folhas durante estes períodos e diminuem bastante suas atividades, para economizar a água que possuem.

Essas plantas podem ter longas raízes para aproveitar a água presente no subsolo.

Um trabalho investigando a fenologia de espécies lenhosas da caatinga do seridó no Rio Grande do Norte demonstrou que a presença de folhas foi fortemente influenciada pela pluviosidade em 11 das 13 espécies estudadas (AMORIM *et al.*, 2009). Estas espécies formavam e eliminavam folhas rapidamente após períodos de chuvas esporádicas (Fig. 2.9). Em geral, a floração e a frutificação também ocorreram no período de maior disponibilidade de chuva (Fig. 2.9).

Figura 2.9. Pluviosidade e fases fenológicas de 13 espécies ao longo de dois anos na caatinga da Estação Ecológica do Seridó, RN.



Fonte: AMORIM *et al.* 2009.

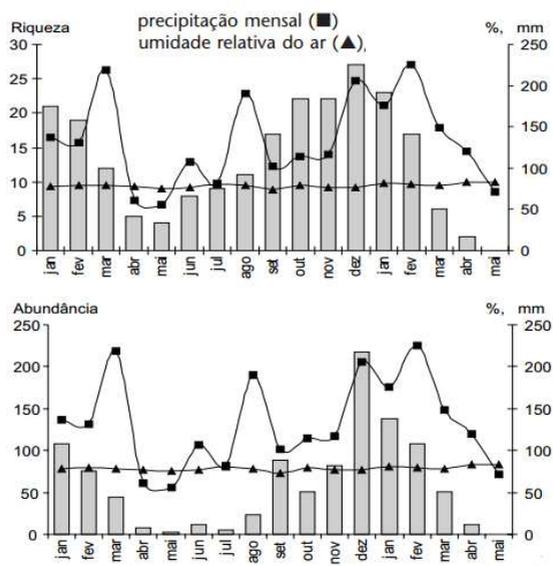
Além disso, as plantas possuem adaptações contra a perda de água como espinhos ou folhas coriáceas e podem, ainda, ter tecidos capazes de realizar reserva de água, como observado nos cactos e suculentas. Como discutido nas seções sobre umidade e temperatura, essas condições estão diretamente relacionadas à disponibilidade do recurso água no ambiente, uma vez que quanto maior a temperatura, menor a evapotranspiração. Então, aqui também deve-se considerar adaptações já discutidas, como a presença de estômatos na região abaxial da folha e a realização da fotossíntese do tipo CAM ou C4.

Em ambientes aquáticos, o efeito da pluviosidade é mais importante em corpos d'água temporários ou rasos, que podem secar em períodos de pouca chuva e afetar todos os organismos presentes. Essa é a realidade de muitos açudes e cursos d'água na região nordeste do Brasil.

A pluviosidade também pode alterar a salinidade dos corpos d'água. Um estudo investigando a diversidade de anuros (sapos e pererecas) em áreas de floresta Ombrófila Densa e Mista do Paraná registrou que em 48% das espécies estudadas, os machos vocalizam no período quente e chuvoso do ano, demonstrando a importância dos fatores abióticos na regulação da reprodução dos sapos (Fig. 2.10). Algumas espécies de sapos realizam sua reprodução apenas nesse período, pois eles utilizam poças temporárias para colocar seus ovos (CONTE e ROSSA-FERES, 2006).

Não é raro observar espécies que apresentem reprodução explosiva, de modo que sua reprodução seja induzida rapidamente por uma alteração ambiental, como uma rápida chuva. Essa estratégia já foi observada em sapos e também em plantas, que rapidamente produzem flores e frutos.

Figura 2.10. Riqueza e abundância de sapos e pluviosidade e umidade ao longo do ano em áreas de Floresta Atlântica do Paraná.



Fonte: CONTE e ROSSA-FERES, 2006.

3.3 Gases Atmosféricos

A atmosfera possui uma concentração constante de gases: nitrogênio (78%), oxigênio (21%), gás carbônico (0,03%) e outros gases (0,07%). Pode parecer pouco, mas a quantidade de gás carbônico é um recurso fundamental para as plantas realizarem a fotossíntese. Do mesmo modo que o oxigênio é recurso essencial para a respiração. O balanço entre essas duas atividades deve ser sempre mantido.

Em ambientes aquáticos, temos uma situação oposta à encontrada na atmosfera: pouco oxigênio dissolvido e bastante gás carbônico. A água do mar possui grande afinidade com o gás carbônico, que é facilmente dissolvido na água. A maior parte desse gás carbônico sofre reações e é depositado no fundo como carbonato. O gás carbônico também pode alterar o pH da água, o que pode afetar os organismos que são encontrados. Mudanças no

pH da água presente do solo podem interferir seriamente na absorção de nutrientes.

O oxigênio está limitado às camadas mais superficiais do corpo d'água, onde há penetração da radiação solar e organismos fotossintéticos. O curioso é que esses organismos são altamente produtivos, sendo responsáveis pela maior parte do oxigênio encontrado no ambiente, principalmente quando há nutrientes disponíveis, como nas regiões costeiras. Esse processo varia muito sazonalmente e diariamente, impondo restrições em alguns períodos aos organismos aquáticos.

Voltaremos a todas essas questões e os processos que a influenciam ao falarmos de ciclagem dos nutrientes (Capítulo 5).

3.4 Nutrientes

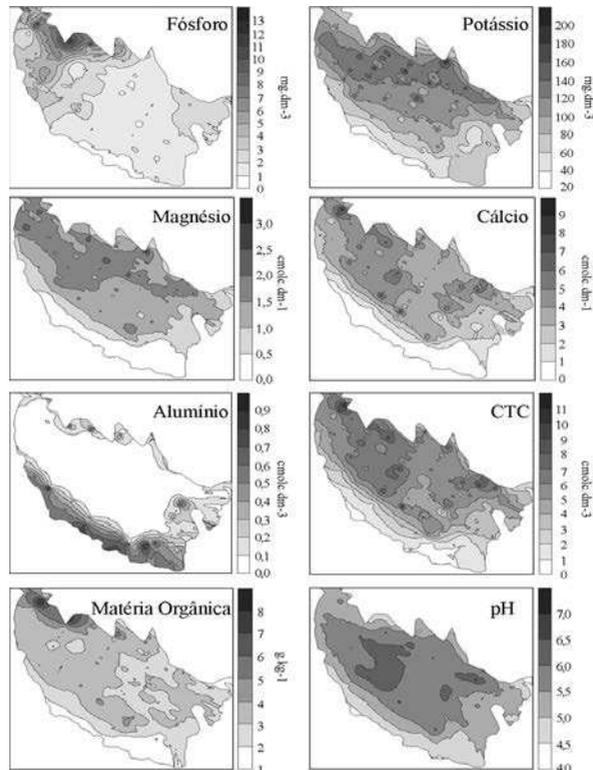
Os nutrientes são tão importantes na constituição dos organismos quanto a energia é fundamental na realização das atividades. Os animais retiram seus nutrientes do seu alimento e as plantas o conseguem diretamente do solo. Muitos nutrientes são importantes, alguns em grandes quantidades (os macronutrientes, como oxigênio, carbono e hidrogênio) e alguns em poucas quantidades (os micronutrientes, como o potássio e o magnésio), mas dois merecem destaque: o fósforo e o nitrogênio. Eles são fundamentais para o desenvolvimento das plantas, sendo muitas vezes considerados fatores limitantes ao seu crescimento.

A distribuição no nutriente no ambiente não é homogênea e essa distribuição influencia fortemente na distribuição das plantas, pois muitas vezes a baixa disponibilidade do nutriente pode levar a competição entre indivíduos ou ajudar na regulação do tamanho da

população. Um trabalho realizado em uma área de cerrado demonstrou essa irregularidade na distribuição dos nutrientes (Fig. 2.11) e registrou que muitas espécies de plantas eram encontradas apenas em locais com disponibilidades de alguns nutrientes. Poucas espécies foram encontradas espalhadas pela área, indicando que a distribuição de nutrientes no ambiente influencia a fitofisionomia e a estrutura da vegetação da região (MORENO e SCHIAVINI, 2001).

Assim como voltaremos a falar sobre os gases O_2 e CO_2 , também vamos conhecer mais sobre os nutrientes e os processos que influenciam sua disponibilidade ao falarmos de ciclagem dos nutrientes (Capítulo 5).

Figura 2.11. Faixa de distribuição dos parâmetros químicos no gradiente florestal da Estação Ecológica do Panga (Uberlândia, MG).



Fonte: MORENO e SCHIAVINI, 2001.

Aplicando seu Conhecimento

1 – Observe seu entorno e identifique características adaptivas em resposta as condições ambientais da sua região. Dentro desse tema, toque as folhas das plantas, observe sua estatura, sua sementes e distribuição. Veja se é possível reconhecer características adaptativas.

2 – Faça um pesquisa comparando as características dos ambientes lênticos e lóticos e dos principais organismos (animais e vegetais) que podem ser encontrados.

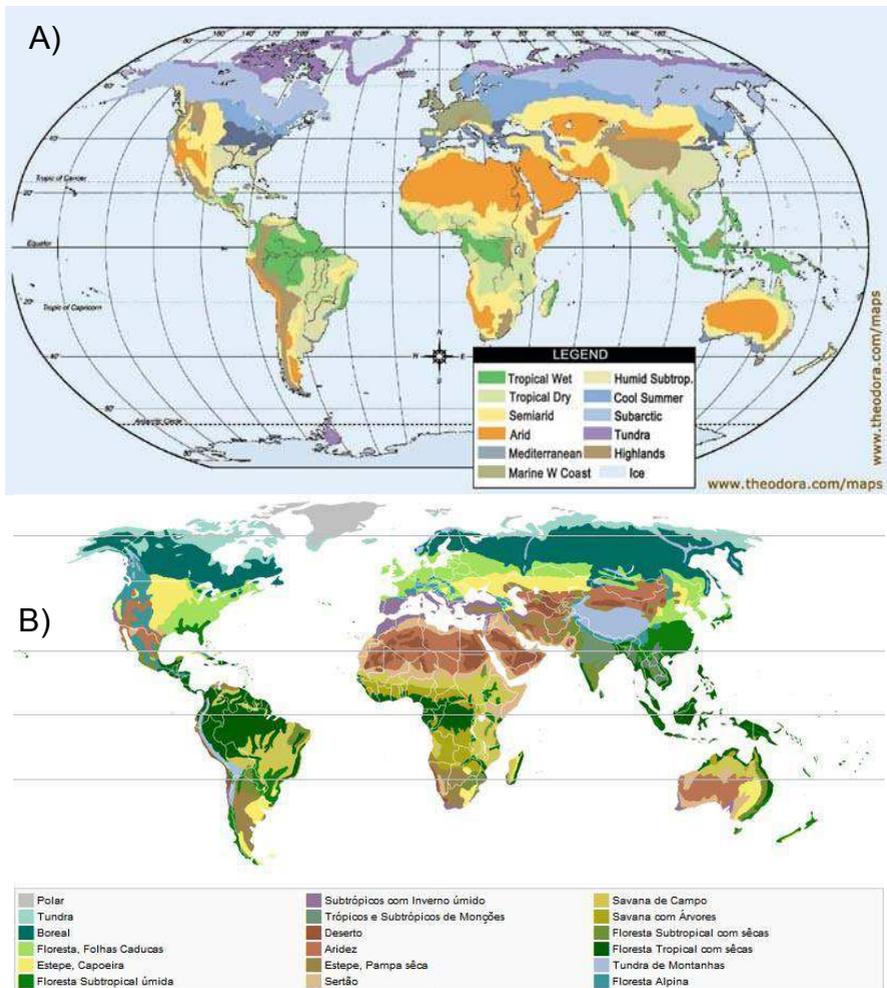
CAPÍTULO 3

BIOMAS

1 Padrões climáticos e a distribuição da vegetação

Observe o mapa de clima mundial (Fig. 3.1A) e o mapa da vegetação mundial (Fig. 3.1B). Você percebe semelhanças? Quais?

Figura 3.1. Mapas demonstrando o A) clima e os B) biomas mundiais.



Fontes: A) www.theodora.com/maps e <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=1744>.

Analisando esses mapas simultaneamente, podemos perceber similaridades de padrões. Isso porque o clima realmente determina os intervalos de muitas condições e essas, por sua vez, influenciam na ocorrência dos organismos. Aqui vamos tratar dos mecanismos que influenciam essas mudanças, sejam mecanismos em grandes escalas, como o movimento de rotação do planeta, sejam mecanismos mais locais, como os fatores edáficos. Além disso, vamos relacionar esses fatores com fitofisionomias vegetais encontradas no planeta e no nosso país.

O primeiro padrão que podemos citar é a variação da intensidade solar ao longo do ano e entre hemisférios. Ao longo do ano, a Terra realiza o movimento de translação, no entanto, com diferentes inclinações em relação ao Sol (Fig. 3.2). Consequentemente, a radiação solar que alcança a superfície do planeta poderá ser mais intensa ou menos intensa dependendo da sua posição. Desse modo, as regiões dos pólos sempre recebem menos radiação do que as regiões próximas do equador. O calor das regiões tropicais tende a aumentar a evaporação e tornar o ar úmido. Essa umidade atinge rapidamente o ponto de precipitação, promovendo intensa chuva e impedindo que a umidade alcance a atmosfera superior.

Figura 3.2. Movimento de translação do planeta Terra, demonstrando os ângulos de inclinação em relação ao Sol.



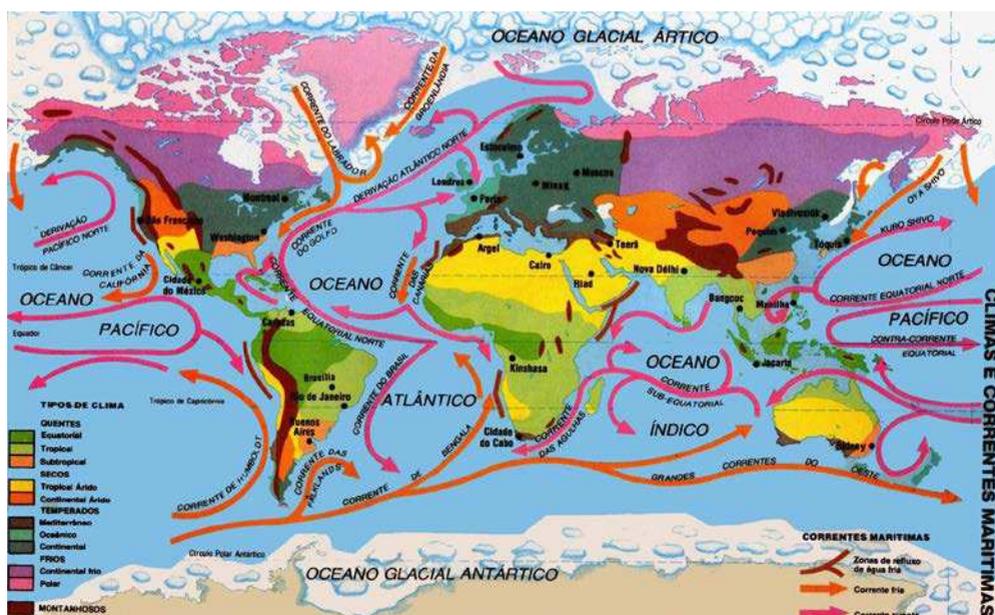
Fonte: <http://www.mundofisico.joinville.udesc.br/index.php?idSecao=1&idSubSecao=&idTexto=3>

Outro padrão climático importante que influencia a umidade das regiões é a formação das massas de ar. É o calor do Sol que provoca o movimento do ar. O calor recebido nas regiões tropicais deixa o ar menos denso e ele tende a subir, sendo substituído pelo ar mais frio (mais denso), que se desloca das regiões polares. Além disso, devido ao movimento de rotação da Terra, o ar quente (das regiões tropicais) já perdeu sua umidade como pluviosidade local e se esfria ao alcançar a latitude de 30° (norte e sul). Ao descer reinicia o ciclo. Desta maneira, o ar tende a circular entre o equador e a latitude 30°. É por isso que grandes desertos, como o deserto Saara, são encontrados nessa latitude. Outra relação entre a evaporação e a precipitação é também observada entre as latitudes 30° e 60°, onde o ar úmido sobe e é levado mais para o norte ou mais para o sul (em cada hemisfério). Conforme se esfria, o ar desce novamente e chove, produzindo ambientes mais úmidos.

As correntes marinhas possuem seus movimentos diferenciados: no hemisfério norte elas circulam no sentido horário, enquanto no hemisfério sul, elas circulam no sentido anti-horário (Fig. 3.3). Esse movimento é determinado por uma força centrífuga que existe no planeta devido seu sistema rotacional e sua velocidade, chamada de Força de Coriolis. Deste modo, na região sul, haverá o movimento de águas frias trazidas da Antártica em direção ao norte e de águas quentes das regiões tropicais para a costa leste. Já no hemisfério norte, as águas frias dos Árticos circulam pela costa oeste, enquanto as águas mais quentes seguem pela costa leste.

Um último fator que pode influenciar a umidade de grandes regiões é a topografia, com a formação das chuvas orográficas, conforme discutimos no capítulo anterior (veja Fig. 2.3).

Figura 3.3. Correntes marinhas mundiais.



Fonte: <http://geoconceicao.blogspot.com.br/2010/04/oceanos-e-atmosfera.html>

Todos esses fatores em conjunto caracterizaram regiões como secas, úmidas, frias ou quentes, influenciando diretamente a distribuição das espécies.

2 Variações locais de recursos e condições

As variações locais têm uma importância muito grande na definição das características de um ambiente. A variação altitudinal impõe diferenças acentuadas na temperatura e na pluviosidade das regiões. É comum as características climáticas observadas com a variação altitudinal serem semelhantes às características climáticas observadas com a variação latitudinal. Ou seja, regiões localizadas no alto de montanhas (altas altitudes) tem clima semelhante ao das regiões de altas latitudes (próximo dos pólos). Essa variação

climática, certamente, influencia as fitofisionomias encontradas nesses lugares, que podem ter características semelhantes também.

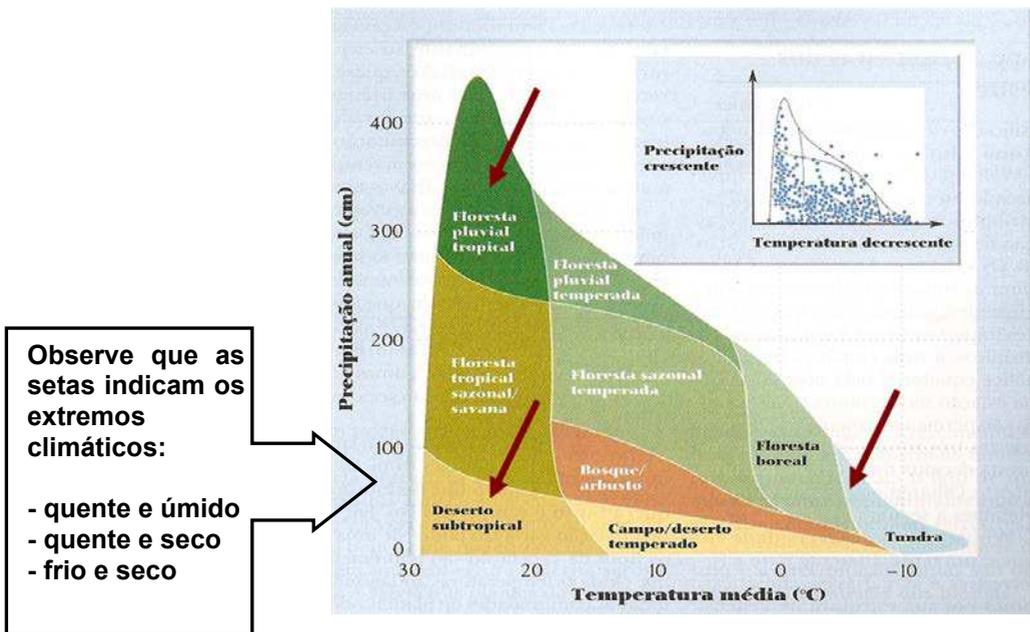
Regiões localizadas em altas altitudes tendem a ser mais frias e mais secas. Além disso, o solo pode ser bastante diferente na sua composição, na sua granulometria ou ainda na sua capacidade de reter umidade, mesmo entre pequenas distâncias. A disponibilidade de nutrientes é fundamental para o desenvolvimento das plantas. Havendo diferença na sua composição, certamente espécies diferentes conseguirão se fixar. Essas modificações podem ser decisivas para alterar as espécies que possuem adaptações à estas condições.

Vale lembrar que apenas estas características não são suficientes para afirmar com certeza que determinada espécie ocorrerá em determinado lugar ou não. As interações ecológicas também influenciam a dinâmica das comunidades e a distribuição de espécies. Além disso, também temos que considerar a história de vida dos organismos, ou seja, se as espécies tiveram ou não a oportunidade de alcançar determinado habitat. Ao longo da história geológica, ocorreram muitas modificações na estrutura e localização dos continentes (Veja Fig. 1.5), além dos períodos de glaciação, onde havia diferença da área exposta de terra e das áreas com condições favoráveis à vida. A evolução deve ser considerada como peça chave para se entender as adaptações e as distribuições das espécies.

As variações desses fatores determinam características que devem ser suportadas pelas espécies que ocorrem na região, ou seja, as características que foram selecionadas ao longo da evolução. Bioma corresponde às características físicas e climáticas de uma região, associadas à vegetação que ela apresenta. Os

biomas não possuem seus limites claros, com início e fim e nem são completamente homogêneos (possuem variações locais). A região de interseção entre um bioma e outro é chamada de ecótono. Essa região é de grande importância, pois pode apresentar características de ambos os biomas, assim como a possibilidade de abrigar um maior espectro de espécies. Através dos padrões climáticos gerais, podemos prever a ocorrência dos biomas mundiais (Fig. 3.4).

Figura 3.4. Os biomas de Whittaker¹, definidos a partir da temperatura e precipitações médias.



Fonte: RICKLEFS, 2010.

3 Biomas Terrestres

Começaremos estudando as características dos biomas terrestres, que são influenciados prioritariamente pelas condições

¹ Whittaker foi um ecólogo na Universidade de Cornell que resolveu relacionar a temperatura e a pluviosidade e determinou as fronteiras de tipos de vegetação (RICKLEFS, 2010).

climáticas e pela qualidade do solo de determinada região. Apesar de focarmos em espécies vegetais para sua classificação, entende-se que as espécies animais estão associadas à estas.

Estude as características dos biomas apresentadas abaixo, comparando com as Figuras 3.1 e 3.4 para contextualizar sua área de ocorrência e seus intervalos climáticos, respectivamente.

3.1 Floresta Sazonal Temperada

Distribuída, basicamente, pelo hemisfério norte, com poucas áreas no hemisfério sul (Nova Zelândia e Chile), sua temperatura é moderada, podendo ter congelamento durante o inverno. A pluviosidade excede a evaporação e transpiração, tendo água constantemente disponível no solo. A vegetação possui uma estrutura características, com árvores decíduas dominantes, um estrato de árvores menores, arbustos e herbáceas. O período de reprodução é marcado durante a primavera, quando a temperatura, o fotoperíodo e a pluviosidade estão maiores.

Na parte mais quente e seca, o solo é arenoso, pobre em nutrientes e as árvores características são os pinheiros. Devido ao período de seca, pode haver incêndios e espécies adaptadas ao fogo, como sementes com casca resistente, gemas protegidas, raízes subterrâneas, entre outros.

3.2 Floresta Temperada Úmida

Estas florestas são perenes, ou seja, não perdem suas folhas ao longo do ano. Elas ocorrem em regiões de invernos amenos, alta pluviosidade e neblinas durante o verão. Suas árvores são altas,

como a sequóia (de 60 a 70m, em média). Num estrato inferior, podem ser encontradas ervas, também perenes, que se desenvolvem rapidamente durante a primavera. Devido sua sazonalidade, possui poucos recursos e, por isso, sustenta uma fauna de ciclo de vida curto e especializado.

3.3 Campos/ Desertos Temperados

Também conhecidos como pradarias (América do Norte), estepes (Ásia) ou pampas (América do Sul), possuem baixa precipitação anual, concentrada principalmente no verão e invernos frios. Sua decomposição é lenta, mas como os solos são pouco ácidos, tendem a ser ricos em nutrientes. Devido à seca, o fogo é constante, o que exige uma flora adaptada. A vegetação característica é formada por gramíneas, que sustentam herbívoros e insetos.

3.4 Deserto Subtropical

Localizados entre as latitudes 20° e 30° a norte e a sul do equador, recebem chuvas muito esparsas (menos de 250 mm anuais). Seus solos são rasos e com pouca matéria orgânica. Os arbustos formam sua vegetação característica (sálvia, nos EUA, e creosoto, na América do Sul), mas suculentas, como cactos também podem ser muito freqüentes. Pequenas árvores perenes e de fisiologia lenta também podem ser encontradas. Como as chuvas são freqüentes no verão, as sementes dormentes aproveitam para germinar. Possui diversidade média (mais que regiões áridas

temperadas e menos que regiões tropicais pluviais) e baixa produtividade.

3.5 Floresta Boreal – Taiga

Sua temperatura média anual é bem fria (5 °C) e o inverno bem intenso. A pluviosidade varia de 400-1000 mm e com baixa evaporação, o que torna o solo bastante úmido. As árvores são baixas (10 a 20 m), perenes e aciculadas. Sua decomposição é bastante lenta, por isso há acúmulo de serrapilheira e o solo é ácido e pobre. A diversidade é muito baixa.

3.6 Tundra

Localizada mais ao norte do bioma de taiga, próximo aos pólos. A região é muito fria, com temperaturas chegando facilmente abaixo de zero e com pluviosidade anual muito baixa (menos de 600 mm). O solo é raso, ácido (devido à baixa velocidade de decomposição) e permanentemente congelado (permafrost). A vegetação é caracterizada por arbustos que retêm suas folhas por muitos anos e possuem estatura pequena (próxima ao chão) para suportar as intempéries do clima. Durante o curto período do verão, pode ocorrer o desenvolvimento de várias espécies.

3.7 Floresta Pluvial Tropical

Regiões de clima quente (acima de 20 °C) e com alta pluviosidade (mais de 2000 mm anual e nunca menos de 100 mm mensal). Possuem solos antigos e muito intemperizados, com pouca

capacidade de reter nutrientes. Devido à alta temperatura, a decomposição ocorre rapidamente e sempre há nutriente disponível. Essas florestas funcionam sob um sistema de auto-manutenção, ou seja, sua serrapilheira (matéria orgânica a ser decomposta e presente sobre o solo) é responsável por suprir sua necessidade de nutrientes. As árvores podem alcançar até 60-70 m, com vários estratos inferiores. A quantidade de luz que alcança o solo é pouca, por isso as herbáceas e arbustos podem ter grandes folhas (ex. palmeiras) e as sementes podem permanecer dormentes até que as condições ideais de luz sejam estabelecidas (no caso da abertura de uma clareira, por exemplo). Lianas, como cipós, e epífitas, como bromélias e orquídeas, são muito comuns. Há uma alta produtividade fotossintética e alta diversidade de espécies (muitas endêmicas, ou seja, que só ocorrem em determinado local, com distribuição restrita).

3.8 Savana Sazonal Tropical

É uma região bem característica, de clima tropical, mas acima da latitude 10°, onde há um período de seca (meses com menos de 50 mm). Por isso, as árvores são decíduas, mais baixas e espaçadas. Os solos são pobres em nutrientes e os incêndios são freqüentes. As gramíneas se adaptaram à condição de seca, tornando a pastagem um recurso importante e que sustenta grandes herbívoros, adaptados à sazonalidade de alimento.

4 Biomas Aquáticos

Diferentemente dos biomas terrestres que são definidos baseados em características vegetais, os biomas aquáticos são

definidos em função das variações físicas e químicas (salinidade, profundidade, fluxo das águas).

- Rios: são caracterizados por possuírem fluxo unidirecional, recebendo o efeito da água da chuva e da gravidade (a água sempre corre para regiões mais baixas). São ambientes lóticas, ou seja, de águas corrente.

- Lagos: possuem diferentes características dependendo da profundidade. Na margem são encontradas macrófitas, plantas que podem ser flutuantes ou enraizadas, mas que tem seu ciclo de vida ocorrendo no ambiente aquático. As macrófitas não possuem relação taxonômica. Essa é uma definição ecológica. Até a parte onde há penetração de luz, chamamos zona eufótica (onde há fotossíntese) e abaixo dela, sem luz está a zona afótica. O fundo é chamado de zona bentônica, onde muitos animais são encontrados. Em lagos também é possível perceber uma estratificação na temperatura da água. Essa diferença de temperatura é mais comum em lagos de regiões muito fria, onde há uma diferença de temperatura muito acentuada entre as estações do ano. Essa estratificação impede a mistura de água, diminuindo a oxigenação das zonas mais profundas. A região onde há diferença de temperatura é chamada de termoclina.

- Estuários: são regiões intermediárias entre as águas do rio e do mar. Possui características que exigem grande adaptação da sua biota, como resistência na variação na salinidade (influencia da maré) e na vazão das águas. São regiões de alta produtividade, principalmente devido ao grande aporte de nutrientes trazidos pelo rio. São berçários e área de alimentação para milhares de espécies.

- Oceanos: a zona litorânea é chamada de entremarés, devido a influencia que recebem da variação das marés alta e baixa, e que

exige grande adaptação dos organismos, como evitar a dessecação nos períodos de maré baixa. A zona longe do litoral é chamada de nerítica e, assim como nos rios, possui uma zona eufótica e uma zona afótica que influenciará na taxa de fotossíntese. O fundo é chamado de região bentônica e é onde ocorre a deposição da maior parte dos nutrientes.

5 Biomas Brasileiros

5.1 Brasil: mosaico de ambientes

O Brasil é um país de tamanho continental. Suas regiões recebem a influência de diferentes parâmetros climáticos, geográficos e geológicos, como variação da temperatura, de pluviosidade, de correntes marinhas, da intensidade de radiação solar, da distribuição de montanhas, entre outros. Todas essas variações influenciam as adaptações das espécies e caracterizam diferentes exemplos de biomas.

Os biomas encontrados no Brasil são exemplos dos biomas mundiais anteriormente descritos, só que com nomes locais específicos. Fique atento para evitar confusões e idéias erradas!

Desse modo, no Brasil podemos identificar seis exemplos de biomas (Fig. 3.5), sendo que cada um pode apresentar fisionomias diversas, dependendo das características locais, não tendo homogeneidade da sua composição ou estruturação. As variações de fisionomias podem até receber nomes diferentes, como no caso do mangue e da restinga que fazem parte da Mata Atlântica.

Podemos identificar no Brasil:

- Floresta Tropical Pluvial:
 - Mata Atlântica
 - Amazônia
- Savana
 - Sazonal Tropical: Cerrado
 - Savana Estépica: Caatinga
 - Savana Estépica Alagada: Pantanal
- Campos: Campos Sulinos ou Pampas

Figura 3.5. Distribuição dos biomas em território brasileiro.



Fonte: <http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/>

Os grandes biomas terrestres, em ordem de representatividade de área são Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Campos Sulinos ou Pampas e Pantanal (Tabela 3.1). Pouquíssimas áreas de cada bioma estão legalmente definidas como Unidade de Conservação, o que associado ao intenso crescimento

populacional e econômico, deixa muitas áreas de mata vulneráveis a destruição.

Tabela 3.1. Biomas Brasileiros e suas áreas.

BIOMAS CONTINENTAIS BRASILEIROS	ÁREA APROXIMADA (KM2)	ÁREA / TOTAL BRASIL
Bioma AMAZONIA	4.196.943	49,29%
Bioma CERRADO	2.036.448	23,92%
Bioma MATA ATLANTICA	1.110.182	13,04%
Bioma CAATINGA	844.453	9,92%
Bioma PAMPA	176.496	2,07%
Bioma PANTANAL	150.355	1,76%
Area Total BRASIL	8.514.877	

Fonte: www.ibge.gov.br

5.2 Amazônia

A Floresta Amazônica engloba nove países, sendo que 60% de sua área está no Brasil. Ela se estende por toda região norte, mais o estado do Mato Grosso e é o maior bioma do nosso país. Quando se fala de Amazônia, os dados são sempre impressionantes: possui a maior bacia hidrográfica do mundo, a Bacia do Rio Amazonas, o que garante um importante recurso para a região. Não é a toa que a principal forma de locomoção na região norte do nosso país seja a fluvial! Além disso, possui uma biodiversidade imensurável, com muitas espécies endêmicas e raras, garantindo um patrimônio genético único. Seus recursos minerais também não são totalmente conhecidos, porém, muito abundantes! Grandes empresas como a Vale do Rio Doce e Petrobrás movimentam bilhões em recursos explorados nessa região.

Apesar da grande exuberância da floresta, seu solo é pobre em nutrientes. Essa é uma característica comum em florestas tropicais.

**Como você explica essa
aparente divergência: solo
pobre, mas floresta
exuberante?**

A diversidade e a produtividades são mantidas por um rápido processo de ciclagem de nutrientes, favorecido pela umidade e temperaturas. Esse é o motivo para o baixo sucesso obtido quando a floresta é derrubada para o estabelecimento da agricultura: não há nutrientes suficientes para manter da lavoura por muito tempo.

A principal fisionomia encontrada na Amazônia é a floresta ombrófila densa (Fig. 3.6), caracterizada por árvores muito altas (mais de 60 m), o que diminui muito a luz que chega até o solo. Por isso, seu sub-bosque é aberto, com poucas herbáceas (principalmente palmeiras). No alto das árvores são encontradas muitas epífitas e lianas. A floresta possui diferentes estratos de altura (Fig. 3.7), o que compõe uma grande diversidade de nichos.

Figura 3.6. Vista aérea de uma área de mata contínua na Amazônia.

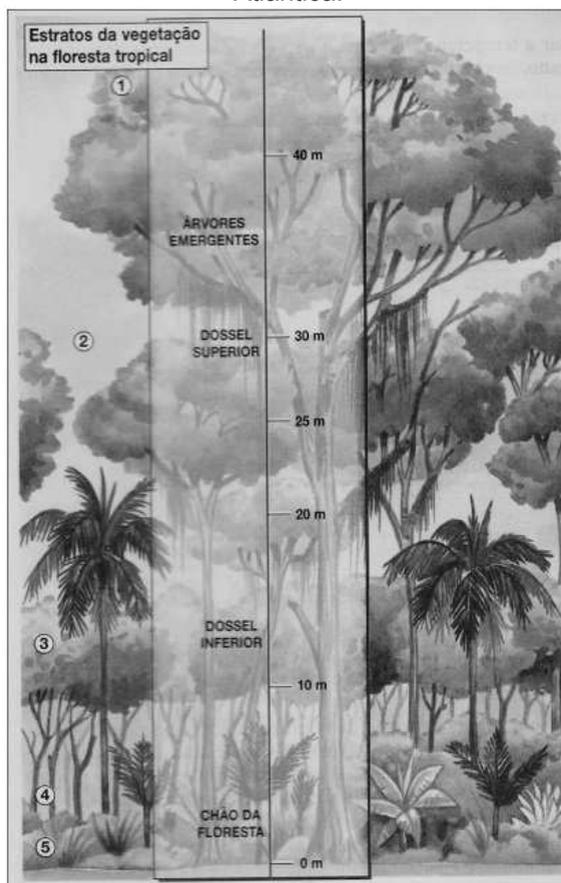


Fonte: <http://www.aeb.gov.br/projeto-visa-a-ampliar-monitoramento-da-amazonia/>

É uma região que registra alto índice de pluviosidade e, no período mais chuvoso, muitas áreas de mata ficam suscetíveis a inundações. Essa variação no nível de alagamento do solo caracteriza a vegetação que irá ocupá-la. A mata de terra firme possui espécies que não suportariam solo inundado. São as regiões mais altas. A mata de várzea é aquela que fica periodicamente

inundada, enquanto a mata de igapós permanece a maior parte do ano inundada.

Figura 3.7. Estratos da vegetação em florestas tropicais, como Amazônia e Mata Atlântica.



Fonte: <http://geografalando.blogspot.com.br/2012/11/vegetacao-nocoos-gerais.html>

Existem leis para proteção específica da Amazônia, limitando áreas que podem ser utilizadas mesmo em propriedades particulares, mas o controle da devastação é muito difícil. Geralmente, a derrubada da floresta acontece para criação de novas áreas de pasto, extração ilegal de madeira ou plantio. O governo brasileiro ainda carece de mecanismos eficientes para identificar rapidamente o uso irregular dessas áreas.

5.3 Cerrado

É o segundo maior bioma do Brasil, ocupando a região central do país e sendo chamado também de savana brasileira. É uma região caracterizada por uma vegetação baixa (até 20 m), esparsa, com caules retorcidos e folhas espessas (Fig. 3.8). Além das árvores também possui plantas herbáceas, principalmente as gramíneas. Apesar de parecer uma resposta à escassez de água, na verdade é uma resposta à escassez de nutrientes. Seu solo é muito pobre e possui alta concentração de alumínio, que é tóxico para as plantas. As árvores possuem essa aparência também em função do fogo, que pode acontecer de forma espontânea e natural no período de seca.

Figura 3.8. A) Cerrado do Parque Estadual do Jalapão, Tocantins; B) com destaque para uma árvore de tronco e galhos retorcidos.

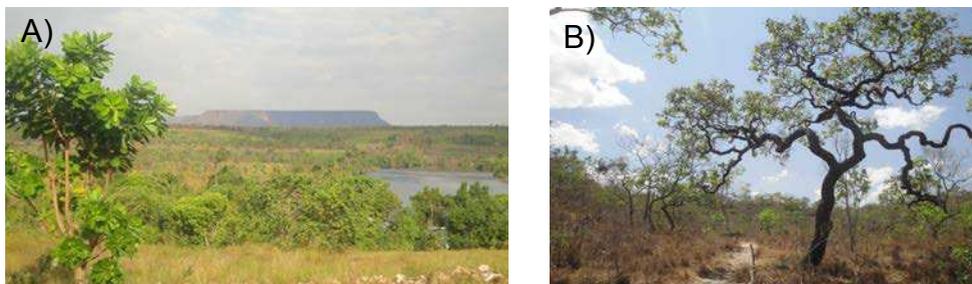


Foto: D.D. Cruz, 2013.

O cerrado passa periodicamente por processos de queimadas naturais, que ocorrem durante a estação mais seca. Muitas plantas possuem adaptações ao fogo, como resina de proteção a órgãos internos e sementes com casca resistente.

Suas fisionomias são nomeadas em função da quantidade de plantas encontradas na região e podem ser classificadas como cerradão (fisionomia florestal), cerrado limpo (com poucas plantas) ou cerrado sujo (com muitas plantas).

Sua fauna é muito diversificada, com muitas espécies de vertebrados e invertebrados endêmicas. Foi caracterizada como um *hot spot* mundial, ou seja, uma das áreas de maior biodiversidade ameaçadas do mundo (MAYERS *et al.*, 2000). É considerada área de prioridade para conservação, a nível mundial.

Dos impactos que o cerrado vem sofrendo, a agricultura é o que merece mais destaque. Como seu solo é muito pobre em nutrientes e ainda tóxico, até a década de 50 ele não era explorado. No entanto, com o crescimento do plantio da soja no sul do país, o governo federal ofereceu muitos incentivos fiscais e econômicos a agricultores que quisessem se estabelecer na região central do país. Além disso, ele garantiu a calagem do solo (que regula o pH e reduz os efeitos do alumínio) e, com a construção de Brasília, forneceu um grande aporte rodoviário na região. Todos esses fatores iniciaram o processo de crescimento econômico e consequente impacto ambiental descontrolado na região, que hoje é um dos pólos produtores de soja do Brasil.

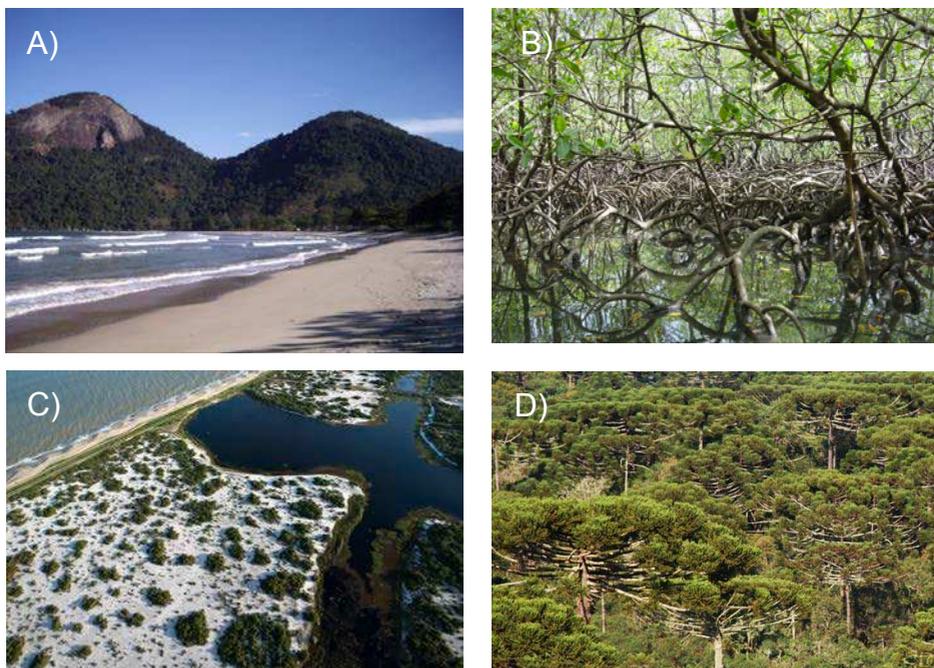
5.4 Mata Atlântica

A Mata Atlântica é o bioma que ocupa a região litorânea do nosso país, desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul, se estendendo até em áreas da Argentina e Paraguai. Como essa foi a região que mais cresceu ao longo da nossa história (é onde estão localizados as principais cidades brasileiras), foi também o bioma que mais sofreu com o impacto humano. Atualmente, menos de 10% da ocupação original da Mata Atlântica está preservada, sendo que de mata primária, ou seja, aquela que não sofreu nenhuma modificação, resta menos de 1%. Assim como o cerrado, a Mata

Atlântica é considerada um *hot spot*, sendo detentora que altíssima biodiversidade e endemismo.

Por se estender do litoral para o interior e em área de variação altitudinal, está submetida a uma variação dos fatores edáficos e climáticos, definindo diferentes fisionomias. A floresta ombrófila densa (Fig. 3.9) é a mais comum, sendo constituída por árvores mais baixas que as encontradas na Amazônia, mas que chegam a 60 m. Possui uma estratificação no seu sub-bosque, sendo formada por herbáceas, arbustos e arvoretas (ver Fig. 3.7). Epífitas e lianas são muito comuns sobre as árvores.

Figura 3.9. Complexo Mata Atlântica. A) Floresta ombrófila densa; B) Manguezal; C) Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Mata de Araucária (Mata Mista).



Fontes: A) Foto D.D., Cruz, 2000; B) <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=16546>; C) <http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/unidades-de-conservacao/biomas-brasileiros/marinho/unidades-de-conservacao-marinho/2260-parna-da-restinga-de-jurubatiba.html>; D) <http://meioambiente.culturamix.com/ecologia/flora/mata-de-araucarias>.

O manguezal (Fig. 3.9B) é a região formada pelo encontro dos rios com os mares e possui uma fisionomia bem específica, com seu solo alagadiço e grande influência das marés. Devido à variação da salinidade, suas árvores e animais devem ser adaptadas à regulação osmótica. É uma região de alta produtividade, principalmente devido aos nutrientes que são trazidos pelos rios. Por isso, constitui região de reprodução, alimentação e refúgio para muitas espécies da fauna, estando legalmente protegido.

As restingas (Fig. 3.9C) estão localizadas nas áreas junto ao mar. Possuem solo arenoso e recebem alta radiação e muito vento. As plantas são resistentes à perda de água, possuindo folhas cobertas por ceras e espinhos e raízes mais longas. Há uma variação das fisionomias encontradas, de modo que as plantas herbáceas são mais comuns junto ao mar, os arbustos numa região mediana e as árvores aparecem mais distantes, formando matas que podem permanecer temporariamente alagadas. Geralmente, estas matas estão próximas a início de morros e podem formar um continuum com a floresta ombrófila densa.

As matas decíduas são encontradas nas regiões montanhosas, com uma variação climática mais marcante e um período de frio e seca. As árvores desta região podem perder suas folhas nos períodos menos favoráveis e em regiões de alta altitude podem dar lugar a uma vegetação rupestre, com mais espinhos e que resistem a longos períodos de seca.

Outra fisionomia marcante são as Matas de Araucárias (Fig. 3.9D), localizadas na região Sul do País e em áreas de alta altitude e clima frio dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, onde se destacam árvores de *Araucaria angustifolia* ou Pinheiro do

Paraná e sua semente, o famoso pinhão, é usado como ingrediente em pratos típicos.

A Mata Atlântica sofre com impactos variados, como é possível você imaginar. Sua devastação data logo da chegada dos portugueses no Brasil, com a exploração intensiva do pau-brasil, causando quase sua extinção em menos de 50 anos. Atualmente, os impactos são causados pelo crescimento desordenado das cidades e pela exploração imobiliária, principalmente em regiões próximas do mar.

5.5 Caatinga

Ocupa o interior da região nordeste do Brasil, sendo distribuída pelos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Alagoas, Sergipe, Bahia e parte nordeste de Minas Gerais. Sua principal característica é a escassez de água associada ao clima quente. Apesar dessa grande dificuldade ambiental, a vegetação possui características adaptativas que garantem sua sobrevivência, como folhas coriáceas, espinhos, baixa estatura, caducifolia, reprodução na época das chuvas, entre outras (Fig. 3.10). É uma região pouco estudada, em relação aos outros biomas brasileiros, porém detentora de grande diversidade de flora e fauna. Merece destaque as regiões chamadas de brejo de caatinga, encontrados geralmente em áreas mais montanhosas, que possuem maior disponibilidade de água e propiciam maior diversidade.

Dos impactos antrópicos que o bioma recebe, a agricultura da cana-de-açúcar é o mais significativo, mas a extração de madeira e a pastagem também estão presentes.

Figura 3.10. Caatinga na época de seca (esquerda) e com as folhas recuperadas após chuva (direita).



Fonte: <http://tudosobreacaatinga.blogspot.com.br/>

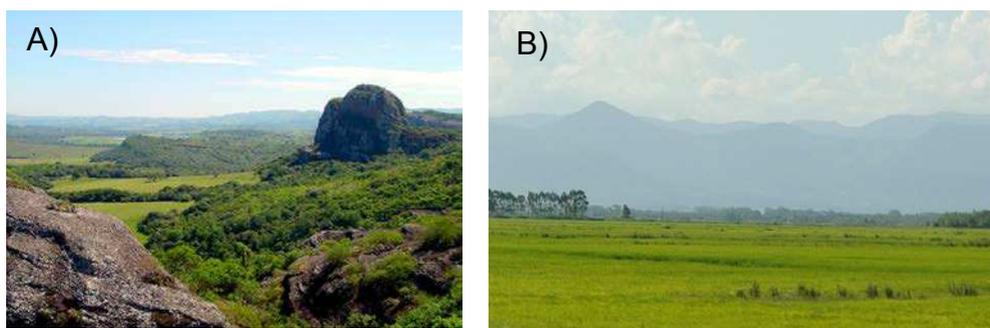
5.6 Campos Sulinos ou Pampas

Localizado entre a Argentina, Uruguai e Brasil, os campos sulinos são geograficamente formados por uma área de planície (Fig. 3.11). No Brasil, abrange em torno de 63% do estado do Rio Grande do sul. A vegetação característica são as gramíneas e plantas rasteiras, sendo o habitat de muitos herbívoros.

Apesar de termos a imagem de que os Pampas são formados apenas por gramíneas, formando um grande campo, podemos encontrar muitas formações florestais no seu domínio.

O solo é fértil e esta característica, aliada à geografia local, favorece a agricultura e a pecuária, que são os impactos que o bioma mais sofre. Essa é uma importante região para o cultivo de eucalipto para produção de papel e plantação de soja.

Figura 3.11. Pampas sulinos A) nas formações rochosas de Guaritas, RS e B) com um fisionomia dominada por gramíneas.



Fontes: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=448193> e <http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=965&sid=2>

5.7 Pantanal

É uma grande planície, que com os regimes da sua bacia hidrográfica, permanece por longos períodos inundada (Fig. 3.12). Essa inundação reduz muito as áreas de solo disponíveis, por isso a agricultura não é uma atividade muito comum da região. No entanto, a pecuária é possível, pois os gados podem ser deslocados para áreas mais secas na época das enchentes. Esse é o principal impacto que a região recebe, sendo hoje um dos grandes produtores de carne no Brasil.

Sua vegetação está concentrada nas regiões mais altas e é formada por uma fisionomia aberta, com árvores esparsas. A vegetação encontrada em áreas mais baixas pode ter um ciclo de vida curto, pois periodicamente essas áreas são inundadas. Apesar de possuir uma biodiversidade muito diversa, o Pantanal não possui muitas espécies endêmicas. Isso porque este é um bioma relativamente pequeno e localizado entre outros biomas (Fig. 3.5), ou seja, com muitas áreas limites ou regiões de ecótonos. Por isso, é

comum encontrar muitas espécies similares às encontradas na Amazônia, no cerrado e até da caatinga.

Figura 3.12. A) Área alagada no Pantanal; B) vista aérea da Planície do Alto Paraguai.



Fontes: <http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/pantanal/pantanal.htm> e http://www.wwf.org.br/wwf_brasil/?37702/Dia-Mundial-das-reas-midas#

Ampliando seu Conhecimento

1 – Pesquise cinco plantas comuns da sua região (terrestres ou aquáticas) e identifique as características adaptativas ao seu bioma (ou à alguma fisionomia do bioma).

2 – Identifique as variações encontradas dentro do bioma em que você vive. Tente encontrar uma area de ecótono e compare sua biodiversidade com outras áreas da região.



Realizar aula de campo para identificar e caracterizar o bioma onde está inserida a escola é uma excelente estratégia para despertar nos alunos o interesse pelo entorno e seus problemas.

CAPÍTULO 4

FLUXO DE ENERGIA

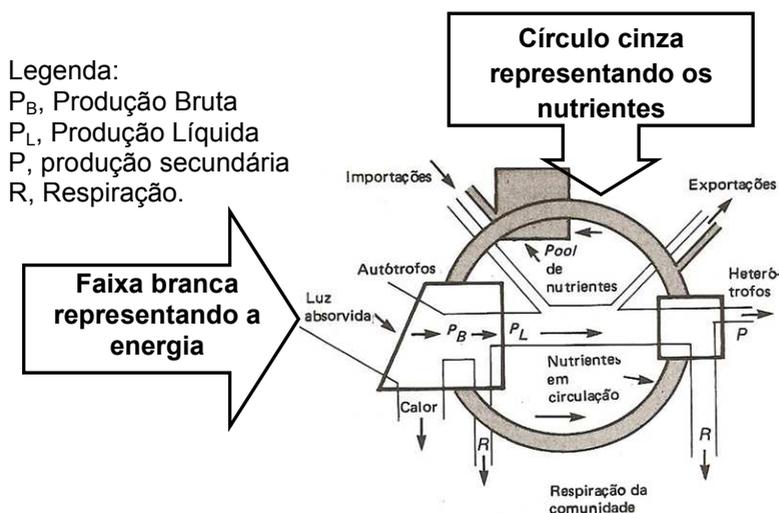
1 Sem energia não tem atividade

Assim como os organismos necessitam de energia para realização de suas atividades, comunidades também requerem energia para a manutenção de sua estrutura. Paralelo à necessidade de energia, está a necessidade de obtenção de matéria, ou seja, como o nutriente é conseguido e assimilado e como ele é transformado de inorgânico para orgânico e vice-versa. Existe uma diferença básica no comportamento da energia e da matéria: enquanto a energia tem um caminho unidirecional, a matéria pode ser reciclada, isto é, reaproveitada pelo sistema. A Figura 4.1 é uma representação clássica dessa relação entre fluxo de energia e ciclagem de nutrientes (ODUM, 1988).

Analisando bem a figura, você poderá perceber que a energia é representada pela faixa branca que cruza o círculo, com início (onde a luz é absorvida) e fim (onde estão os heterótrofos de topo de cadeia). Além disso, percebemos que as caixas representando os autótrofos e os heterótrofos diminuem de tamanho, representando as perdas energéticas que ocorrem ao longo do processo de passagem de energia (Fig. 4.1).

Já os nutrientes, são representados pelo círculo cinza, isto é, está sendo representada a capacidade de regeneração dos nutrientes, de modo que eles não podem ser criados, mas são reaproveitados (Fig. 4.1).

Figura 4.1: Um ciclo biogeoquímico (círculo sombreado) superposto num diagrama simplificado de fluxo energético, que possui comportamento unidirecional.



Fonte: Adaptado de ODUM, 1988.

Veremos nessa unidade exatamente os caminhos pelos os quais a energia entra e sai da comunidade, suas rotas e processos nos ecossistemas terrestres e aquáticos.

Primeiro é importante entender que energia é a capacidade de realizar trabalho. Assim, a realização de qualquer atividade requer energia. E existem leis que regem o comportamento dessa energia.

1ª. Lei da termodinâmica ou Lei da conservação de energia - a energia pode ser transformada de um tipo em outro, mas não pode ser criada nem destruída. Ex.: a luz é uma forma de energia porque ela pode ser transformada em trabalho, calor, mas nenhuma parte dela é destruída.

2ª. Lei da termodinâmica ou Lei da entropia - nenhum processo de transformação de energia ocorrerá espontaneamente, a menos que haja uma degradação da energia de uma forma mais concentrada

para uma forma menos concentrada. Ex.: o calor de um objeto quente tende a se dissipar para o ambiente mais frio.



Então, é importante entender como a energia do Sol é transformada em um tipo de energia que possa ser usada pelos seres vivos.

O Sol é uma grande fonte de radiação, mas nem toda essa energia é aproveitada pelos seres vivos. Na verdade, uma parcela bem pequena é absorvida (menos de 2%) e os seres que possuem a capacidade de absorver a radiação da forma como ela é emitida são os seres autótrofos (plantas, fitoplâncton, etc.). Através do processo da fotossíntese, os seres autótrofos conseguem transformar a energia luminosa em energia química, resultando na fabricação da glicose, que pode ser estocada ou utilizada diretamente como fonte de energia nas atividades celulares. A parte estocada dessa energia será responsável pela formação do corpo da planta, e, posteriormente, de outros animais. Ou seja, ela formará a biomassa da planta.

A biomassa de um organismo geralmente é medida em função de uma unidade de área (de solo ou de água) e é expressa em alguma unidade de energia ou através da massa da matéria orgânica seca (para isso deve-se proceder com um trabalho de secagem, comumente desenvolvido em estufa antes da pesagem).

2 Produtividade

Seguindo a 2ª. Lei da termodinâmica, é possível compreender que sempre haverá uma perda de energia para o meio toda vez que esta for convertida de uma forma para outra. Chamamos de produtividade o balanço entre a energia inicial e a energia perdida para o sistema. As plantas, por serem seres autotróficos são os responsáveis pela entrada da energia no sistema, por isso, dizemos que a produtividade primária é a taxa de energia radiante que foi convertida em energia orgânica através da fotossíntese.

A produtividade primária pode ser dividida em:

- 1) Produtividade primária bruta: a taxa total de energia que foi convertida na fotossíntese. Também pode ser chamada de fotossíntese total ou assimilação total.
- 2) Produtividade primária líquida: é a taxa de matéria orgânica produzida que foi assimilada (incorporada) à formação dos tecidos da planta. Do total produzido, uma parte da energia é gasta em atividades metabólicas, processos celulares e, principalmente, na respiração. Também pode ser chamada de fotossíntese aparente ou assimilação líquida.
- 3) Produtividade líquida da comunidade: é a taxa de armazenamento da matéria orgânica não utilizada pelos heterotróficos (ou seja, a produção primária líquida menos o consumo heterotrófico) durante o período em consideração, geralmente a estação de crescimento, ou um ano.
- 4) Produtividade secundária: é a taxa de armazenamento energético em níveis de consumidores. O armazenamento de matéria orgânica pelos consumidores deveria ser chamada de assimilação e não

produtividade, uma vez que eles já assimilam a matéria orgânica pronta.

Perceba que a Produtividade primária líquida sempre será menor que a Produtividade primária bruta, isso por que parte do que é produzido é gasto, principalmente com a respiração.

Entender o caminho da energia no ecossistema é fundamental para entender o tamanho desse ecossistema. Pode parecer difícil, mas se você fizer uma analogia com outros sistemas, entenderá perfeitamente. Pense no motor de uma motinho 50 cilindradas. Hoje essa moto está muito popular, principalmente, por causa do seu baixo consumo, certo? Propagandas dizem que ela faz mais de 60 km com um litro de combustível! Bem, agora pense em um caminhão. O consumo de um caminhão raramente chega a 4 km com um litro! Por que essa diferença de consumo? O tamanho do sistema e a exigência do motor, é claro! Mas perceba que nos dois casos, o consumo de combustível gera calor, que é perdido para a atmosfera. Esse é o mesmo princípio para a energia que rege as comunidades biológicas: uma cadeia alimentar muito grande exige mais investimento de energia do que uma cadeia com poucos níveis tróficos (cada estágio da cadeia alimentar), porém em qualquer passagem dessa energia entre níveis tróficos, seja em uma cadeia pequena ou em uma grande, há uma perda para o sistema (a respiração).

Nesse sentido, quanto maior a cadeia, maior deverá ser a capacidade de produção de energia da base (os autótrofos), pois deverá ter uma grande produtividade bruta, para que, mesmo com a

perda de energia na respiração, ainda sobre energia suficiente (produtividade líquida) para seguir pela cadeia (Fig. 4.2).

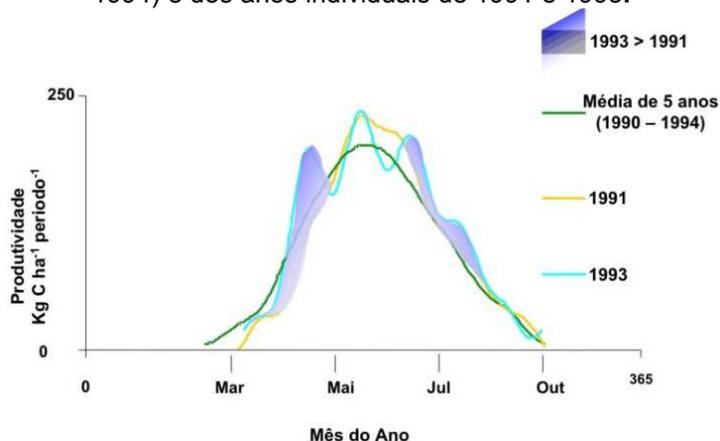
Figura 4.2. Representação da energia ao longo da cadeia alimentar. Perceba:



O acompanhamento da produtividade de um ecossistema é muito realizado para indicar a quantidade de energia presente no sistema. Essa medição traz informações específicas de quanta energia está entrando em um sistema, logo, é possível prever o seu tamanho e potencial de uso. Por exemplo, fazendo o acompanhamento sazonal da produção de energia, é possível determinar períodos de alta e baixa produção energética, que geralmente varia em função do clima. Esse monitoramento pode ser realizado no intuito de melhor planejar datas de retirada e outras

decisões de manejo de pastoreio, por exemplo (Fig. 4.3, REEVES *et al.* 2002).

Figura 4.3. Produtividade estimada de pastagem (kg C ha⁻¹) derivada de combinações bi-semanais de AVHRR NDVI para uma média de 5 anos (1990 - 1994) e dos anos individuais de 1991 e 1993.



Fonte: REEVES *et al.*, 2002.

3 Cadeias alimentares

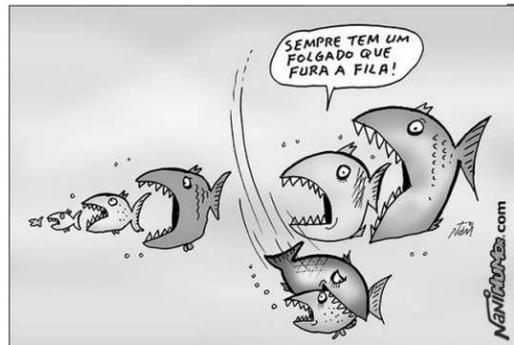
Todo ser vivo para sobreviver precisa de energia. As plantas conseguem essa energia através da fotossíntese, enquanto os animais a retiram do seu alimento. Isso significa que a energia vai passando de um organismo para outro. A transferência que ocorre através de relações tróficas é chamada de cadeia alimentar.

Você é capaz de identificar um exemplo desse tipo de relação? Vamos ver um exemplo bem simples: o milho é consumido por ratos, que são consumidos por cobras, que são consumidas por águias. Esse é um dos exemplos mais comuns que encontramos nos livros didáticos.

Desafio: agora monte uma cadeia alimentar com organismos da sua região. Contextualize esse conteúdo!

Certamente, você é capaz de pensar em outras cadeias alimentares onde entrem os mesmos animais que você imaginou. Isso porque geralmente os predadores possuem vários itens alimentares, permitindo uma interligação de várias cadeias. A interrelação entre cadeias alimentares é chamada de teia alimentar. Observe a Figura 4.4 e tente identificar quantas cadeias alimentares estão sendo representadas de maneira interconectada.

Uma cadeia alimentar pode apresentar diversos níveis tróficos, que serão nomeados segundo sua posição. O primeiro nível trófico é o nível dos produtores. Isso é uma lei!

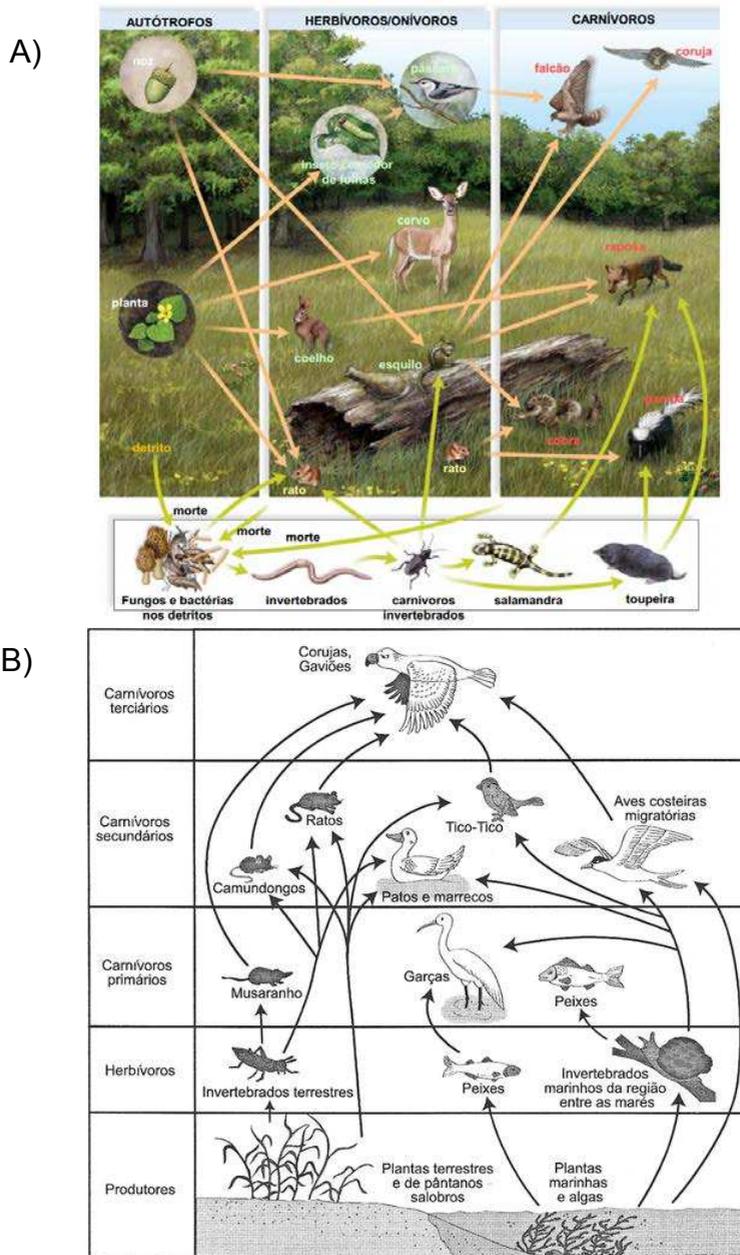


A cadeia sempre vai começar com um organismo autotrófico, como uma planta, ou quimiotrófico, como uma bactéria anaeróbica. Por quê? Porque apenas esses organismos são capazes de introduzir energia no sistema. Logo, eles tem um papel importantíssimo. Veja na Figura 4.4 exemplos de produtores e perceba que é deles que partem as setas indicando o consumo.

Os próximos níveis são representados pelos consumidores. O segundo nível trófico é dos consumidores primários, ou seja, animais que consomem os produtores. Em geral, os herbívoros (Fig. 4.4). Do terceiro nível trófico em diante, encontramos os consumidores carnívoros, que se alimentam dos herbívoros (Fig. 4.4). Com exceção dos autotróficos, que sempre estarão na base da cadeia alimentar e herbívoros, que sempre serão consumidores primários, perceba que não é correto afirmar que um carnívoro será um consumidor secundário ou terciário, e assim por diante, justamente porque os carnívoros podem estar em posições diferentes,

dependendo da cadeia trófica analisada. Analise a Figura 4.4 e veja alguns exemplos.

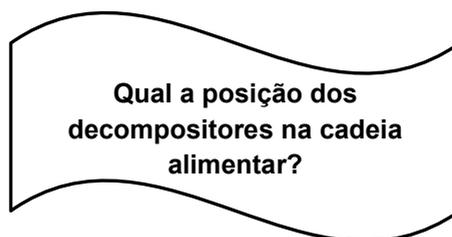
Figura 4.4: Teia alimentar A) no ambiente terrestre e B) envolvendo os ambientes terrestres e aquáticos.



Fonte: A) Cientic (<http://www.cientic.com/>); B) HICKMAN, 2009.

Além dos produtores e consumidores, encontramos outro componente essencial numa cadeia alimentar, os decompositores (Fig. 4.4). Os decompositores são grupos de microorganismos, como fungos e bactérias, responsáveis por renovar a matéria morta, a matéria orgânica sem vida, presente no meio. Sem os decompositores seria impossível a vida no planeta, porque teríamos um acúmulo de matéria orgânica morta e falta de nutrientes para os seres vivos. Os decompositores exercem um importantíssimo papel ecossistêmico, existindo inclusive trabalhos que calculam em valores monetários quanto esse serviço vale. Um trabalho investigando a valoração dos serviços ecossistêmicos, em geral, do Parque Bacacheri, Curitiba, calculou que esses serviços equivalem a R\$ 95,49/ m². Considerando-se o número de habitantes atendidos anualmente esse valor seria de R\$ 14,5 milhões (OIKAWA e CARLI NETO, 2012). Imaginem termos que pagar valores dessa natureza para ter direito aos serviços ecossistêmicos, como ciclagem de nutrientes, manutenção de corpos hídricos ou serviço de polinizadores!

Voltando aos serviços realizados pelos decompositores, uma questão fundamental:



Os decompositores tem o papel de decompor matéria orgânica morta. Então, vamos seguir a seguinte linha de raciocínio: plantas morrem? Herbívoros morrem? Carnívoros morrem? Microorganismos morrem? Acredito que você tenha respondido sim a todas essas

perguntas. Se todos esses organismos morrem, então os decompositores devem agir em todos os níveis da cadeia alimentar. Os decompositores, então, agem em paralelo a todos os níveis tróficos. São os seres responsáveis pelo processo de decomposição e estão intimamente relacionados ao processo de reciclagem de nutrientes.

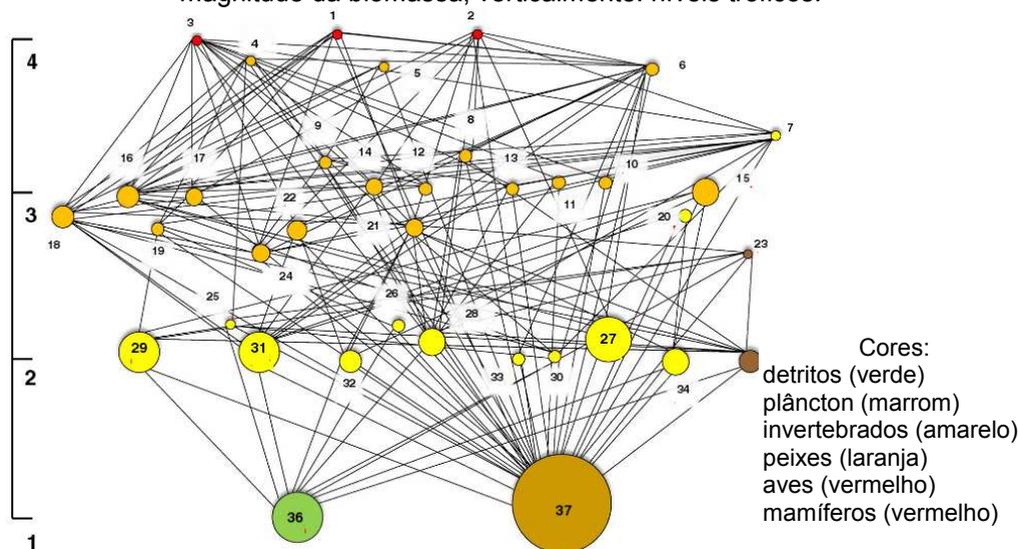
<p>Um erro comum em livros didáticos é não deixar claro que os decompositores estão agindo em todos os níveis da cadeia alimentar. Fique atento a isso, quando você estiver em sala-de-aula.</p>

O exemplo aqui mencionado na Fig. 4.4 de teia alimentar é bastante didático e permite que analisemos bem a estrutura e composição que uma teia pode ter. Inclusive é bem interessante pensar em quantos níveis tróficos você consegue organizar com os organismos encontrados na sua região.

Entretanto, se formos avaliar um estudo de teia alimentar na natureza, vamos nos assustar com a complexidade de relações que observaremos (Fig. 4.5; LERCARI *et al.*, 2015.). Nesse estudo, foi identificada uma teia em uma região de estuário no Uruguai e foram identificadas 37 espécies, distribuídas em 4 níveis tróficos e com muita interconexão entre elas (Fig. 4.5).

Desta perspectiva, percebemos claramente, como as espécies estão conectadas e como são dependentes. Podemos entender melhor que qualquer alteração nesse sistema pode desestabilizá-lo, podendo levar a extinções e desequilíbrio ambiental. Discutiremos mais essa questão no Capítulo 11.

Figura 4.5. Teia alimentar do estuário do Rio de La Plata (Uruguai). Horizontalmente: organismos representado pelos círculos proporcionais à magnitude da biomassa; verticalmente: níveis tróficos.



50 Wkm² 1 *Tursiops truncatus*; 2 *Pontoporia blainvillei*; 3 *Otaria flavescens*; 4 Sea birds; 5 *Galeorhinus galeus*; 6 *Urophycis brasiliensis*; 7 Squids; 8 *Genidens + Lucerna*; 9 Flat fishes; 10 *Squatina guggenheim*; 11 *Prionotus* spp.; 12 *Mustelus schmitti*; 13 Other marine fishes; 14 *Micropogonias furnieri* A; 15 *Rapana venosa*; 16 *Cynoscion guatucupa* J; 17 *Micropogonias furnieri* J; 18 *Cynoscion guatucupa* A; 19 Hard bottom fishes; 20 Large Gastropoda; 21 Sciaenidae; 22 Rays; 23 Zooplankton C-O; 24 Pelagic fishes; 25 Other freshwater fishes; 26 Rocky benthic invertebrates; 27 Shrimps; 28 Polychaeta; 29 Mytilidae; 30 Other benthic invertebrates; 31 Estuarine Bivalvia; 32 *Corbicula fluminea*; 33 *Heleobia* spp.; 34 Large marine Bivalvia; 35 Zooplankton H-O; 36 Phytoplankton; 37 Detritus.

Fonte: Adaptado de LERCARI *et al.*, 2015.

Essas relações alimentares são muito estreitas e vulneráveis a perturbações. Isso significa que qualquer alteração no sistema pode causar uma série de reações. Por exemplo, a retirada de uma presa pode afetar todos os predadores que a consomem. Se a presa for a única utilizada na alimentação, o efeito pode ser tão grande que levará o predador a extinção. O efeito também será percebido em outras presas, que passarão a ser mais caçadas. E toda estrutura da teia alimentar será modificada.

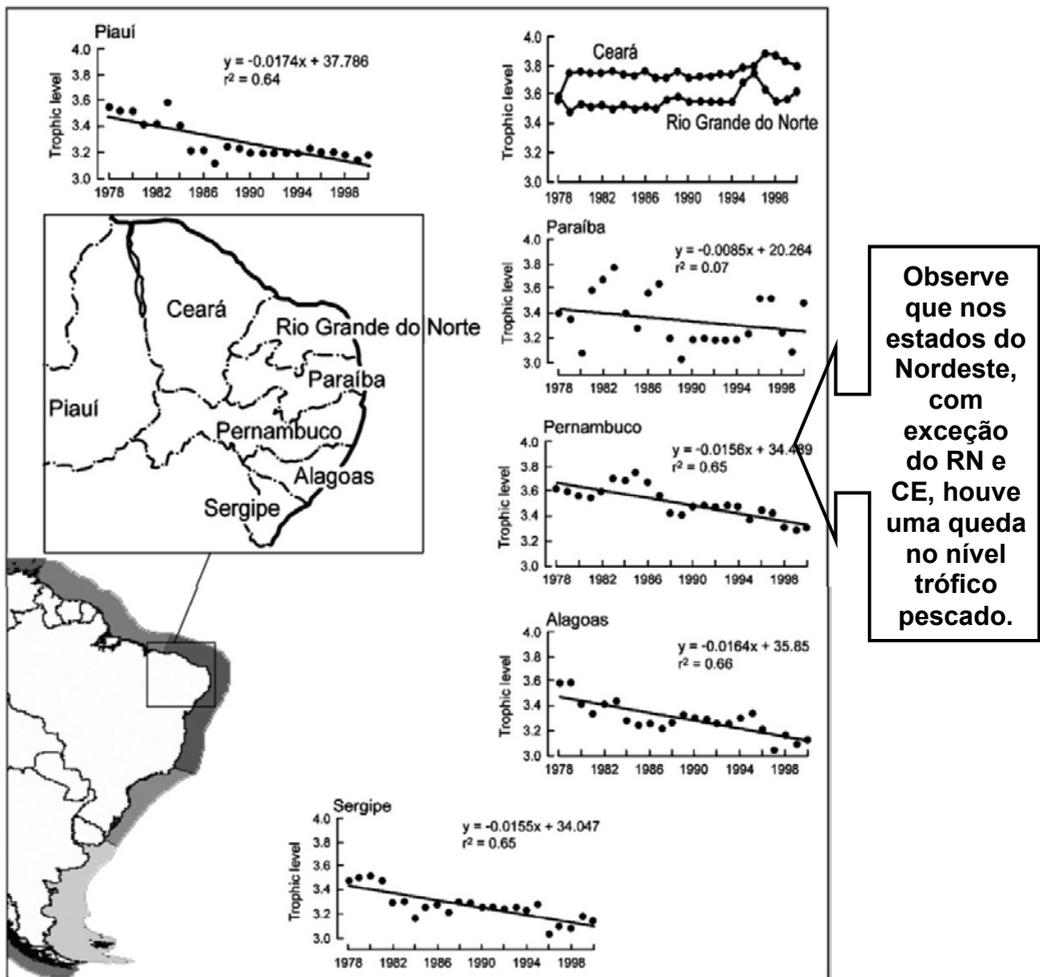
Por outro lado, se houver o aumento na produção de um produtor, certamente mais energia estará disponível para os consumidores primários, que poderão se reproduzir mais e aumentar sua densidade, facilitando o seu encontro pelos consumidores

secundários e assim por diante. Mais uma vez, a estrutura da teia poderá ser alterada. Não se conhece exatamente o caminho que regula essas relações, se da base para o topo (no inglês, “bottom-up”), com uma regulação partindo dos produtores, ou se do topo para a base (“top-down”), com a regulação sendo realizada pelos predadores de topo. Ambos níveis tróficos já foram identificados como responsáveis por esse processo. Mas, uma conclusão é unânime: esse tipo de estudo permite entender o funcionamento da comunidade.

No mundo e também no Brasil, uma questão preocupante está sendo a intensidade de pesca realizada, que está afetando de maneira significativa a estrutura das cadeias alimentares. Um caso já bem conhecido no Brasil é o da sardinha (*Sardinella brasiliensis*), um peixe localizado em um nível trófico mais baixo (consumidor primário), que teve um impacto tão forte por causa da sobre-pesca, que a quantidade pescada foi reduzida de 230.000 toneladas em 1973 para 33.000 toneladas em 1990 (FREIRE e PAULY, 2010).

Porém, essa parece ser a tendência também em organismos de níveis tróficos mais elevados, o que gera uma enorme preocupação, pois afetaremos os predadores de topo, que são reconhecidamente importantes para manter o equilíbrio das comunidades. Um estudo demonstrou que no nordeste do Brasil ocorreu uma queda significativa na pesca de organismos localizados em níveis tróficos mais altos (consumidores terciários e quaternários), indicando uma redução importante e uma das mais altas no mundo na disponibilidade desses organismos (Fig. 4.6; FREIRE e PAULY, 2010). Isso faz com que pensemos mais fortemente no impacto que o homem pode ter na natureza e as consequências de intervenções mal planejadas e sem controle.

Figura 4.6. Nível trófico pescado ao longo de 22 anos (1978-2000) nos estados do Nordeste do Brasil.

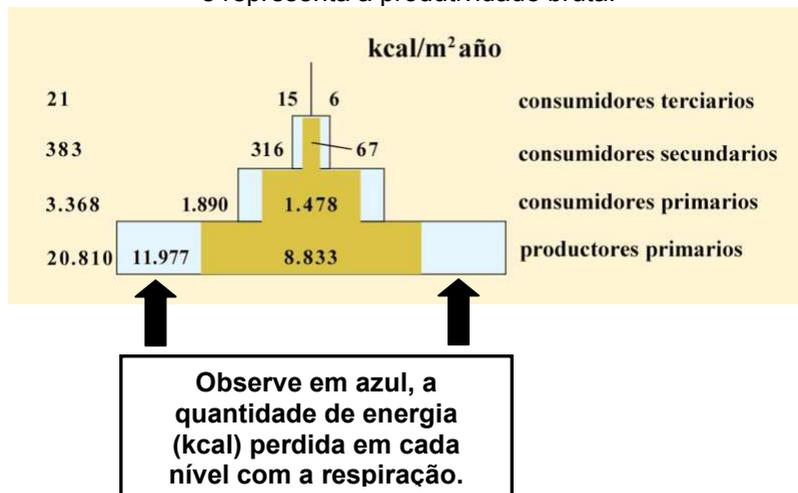


Fonte: Adaptado de FREIRE e PAULY, 2010.

Bem, já está claro o caminho da energia no sistema: cada etapa que a energia percorre, a cada nível trófico transpassado, há uma perda de energia. Desse modo, a energia sempre vai diminuindo e o último nível trófico recebe apenas uma parte muito pequena da energia gerada no início do processo, ou seja, no primeiro nível trófico. Mas, como podemos representar isso? Antes de responder, vamos falar sobre essa perda!

A perda ocorre porque apenas uma parte pequena da energia é acumulada como biomassa, o que será consumido posteriormente (a produtividade líquida) e a maior parte é usada para a manutenção do próprio organismo, como as atividades respiratórias e outras atividades metabólicas. Baseado nesse processo, podemos representar o fluxo de energia através da cadeia alimentar como uma pirâmide (Fig. 4.7), onde sua base seria mais larga devido a maior produção de energia garantida pelas plantas, com uma diminuição progressiva até o ápice, onde estaria um predador de topo, recebendo menos energia. Em geral, a quantidade de energia disponível entre um nível trófico e o próximo varia de 10 a 20%, ou seja, até 90% pode ser gasto com a manutenção metabólica e fisiológica do próprio organismo.

Figura 4.7. Pirâmide de energia em uma comunidade aquática. Em cinza escuro, a produção líquida de cada nível, cinza claro, a respiração. A soma está à esquerda e representa a produtividade bruta.

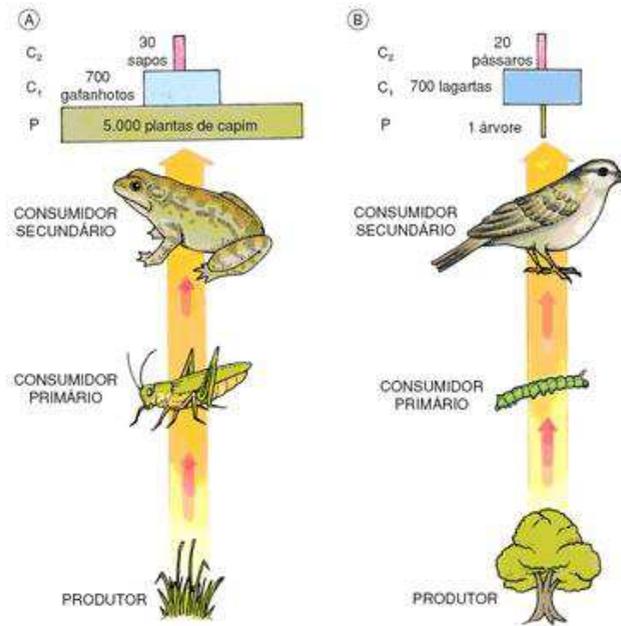


Fonte: Adaptado de ODUM, 1957.

Outras formas de pirâmides ecológicas que também podem ajudar a representar a relação trófica são as pirâmides de número e de biomassa. A pirâmide de número representa a quantidade

(abundância) de organismos em cada nível trófico (Fig. 4.8). Já a pirâmide de biomassa representa a quantidade de biomassa (peso seco) presente em cada nível trófico (Fig. 4.9).

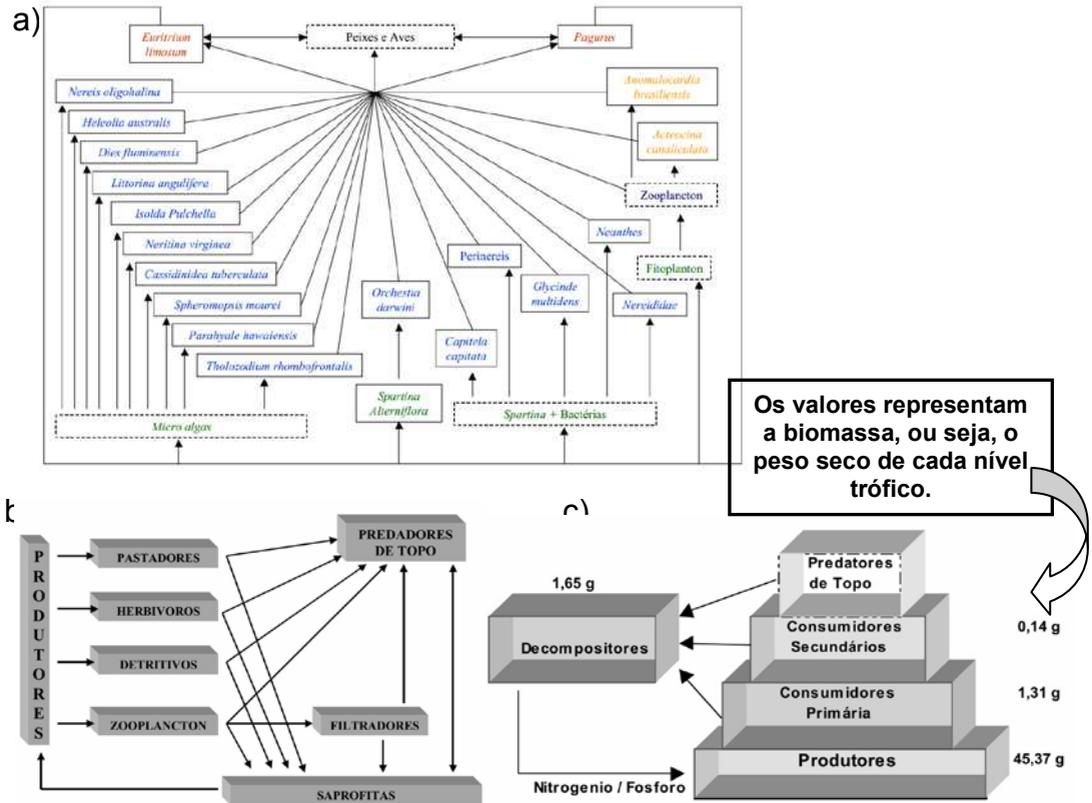
Figura 4.8. Pirâmide de número normal e invertida.



Fonte: <http://www.euquerobiologia.com.br/2014/08/fluxo-de-energia-e-niveis-trificos.html>

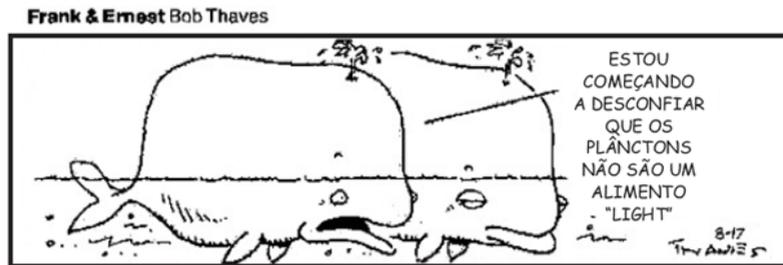
Na Figura 4.9, está sendo demonstrada uma cadeia de um estuário na região de São Paulo (ESPOSITO *et al.*, 2006). Repare que além do levantamento dos organismos que compõem a cadeia, os autores também determinaram suas biomassas e o caminho que a energia percorre. Apesar de não estar sendo demonstrada uma pirâmide de energia (não está disponível a quantidade de energia em cada nível trófico), observe que a energia está partindo dos produtores e indo para os outros componentes tróficos. Além disso, os decompositores (saprófitos, na representação) estão colocados em paralelo a todos os níveis.

Figura 4.9. a) Representação de uma teia alimentar aquática, b) do fluxo de energia; e c) da pirâmide de biomassa de uma comunidade em um estuário de São Paulo.



Fonte: ESPOSITO *et al.*, 2006.

As pirâmides de número (Fig. 4.8) e de biomassa (Fig. 4.9) podem se diferenciar da pirâmide de energia (Fig. 4.7) e se apresentar de maneira invertida (como visto na Fig. 4.8B), isto é, com a base menor que o topo. Isso ocorre em situações especiais, geralmente em resposta a variação climática, e por algum motivo o número ou a biomassa do produtor se tornam menores que dos consumidores. Apesar dessa redução em número ou biomassa, a quantidade de energia continua sendo maior na base, pois são os produtores que vão sustentar todo o sistema. Lembre-se que isso é uma regra!



Agora, conhecendo o caminho da energia, como você explicaria essa charge? ²

4 Padrões de produtividade

Entender a produção e o fluxo de energia dos ecossistemas permite entender seu funcionamento e prever a suscetibilidade à impactos e alterações. Um padrão é bastante conhecido: poucas áreas do planeta possuem alta produtividade. Os responsáveis pelos maiores valores são os estuários, mangues, recifes de corais e florestas tropicais. Existe também uma diferença grande entre o padrão de ambientes terrestres e aquáticos: o mar é menos produtivo (até 3x menos), com exceção dos ambientes costeiros (Tabela 4.1).

No ambiente terrestre há uma tendência latitudinal, onde a produtividade aumenta dos pólos em direção ao equador, certamente influenciados pela disponibilidade de luz e água (fatores limitantes para a fotossíntese). No ambiente aquático, essa tendência é evidente em lagos, mas não em oceanos, onde a produtividade, geralmente, é limitada pela falta de nutrientes (BEGON *et al.*, 2007).

² Apesar de ter pouca biomassa, o fitoplâncton produz grande quantidade de energia, podendo sustentar toda uma cadeia alimentar.

Tabela 4.1. Área e variação da produtividade primária líquida anual em diferentes ecossistemas mundiais (aquáticos e terrestres).

Tipo de ecossistema	Área (10 ⁶ km ²)	PPL, por unidade de área (g m ⁻² ou t km ⁻²)
Floresta tropical	24,5	1.000-3.500
Floresta temperada	12,0	600-2.500
Floresta setentrional de coníferas	12,0	400-2.000
Floresta e vegetação arbustiva	8,5	250-1.200
Savana	15,0	200-2.000
Campo temperado	9,0	200-1.500
Tundra e ambiente alpino	8,0	10-400
Deserto e semideserto arbustivo	18,0	10-250
Deserto extremo, rocha, areia e gelo	24,0	0-10
Terra cultivada	14,0	100-3.500
Pântano e banhado	2,0	800-3.500
Lago e riacho	2,0	100-1.500
Total em ambientes continentais	149	
Oceano aberto	332,0	2-400
Zonas de ressurgência	0,4	400-1.000
Plataforma continental	26,6	200-600
Bancos de algas e recifes	0,6	500-4.000
Estuários	1,4	200-3.500
Total em ambientes marinhos	361	

Compare a produtividade entre ecossistemas, com destaque para Floresta Tropical e Deserto, no ambiente terrestre

...e destaque para a produtividade do Oceano e dos Estuários, no ambiente

Fonte: BEGON *et al.*, 2007.

5 Fatores limitantes da produtividade primária

Fatores limitantes são aqueles recursos que se tornam escassos relativos à sua demanda e acabam regulando a taxa da produtividade primária. Os fatores necessários à produtividade nos ambientes terrestres e aquáticos são diferentes, por isso trataremos esses ecossistemas separadamente.

Mas antes de continuarmos, pense: o que é necessário para que haja fotossíntese?

5.1 Ambientes terrestres

Vamos considerar os principais fatores que influenciam a produtividade, ou seja, os recursos que a planta necessita para realizar fotossíntese. Claro que nem todos serão limitantes, porém é importante perceber como eles agem nesse processo.

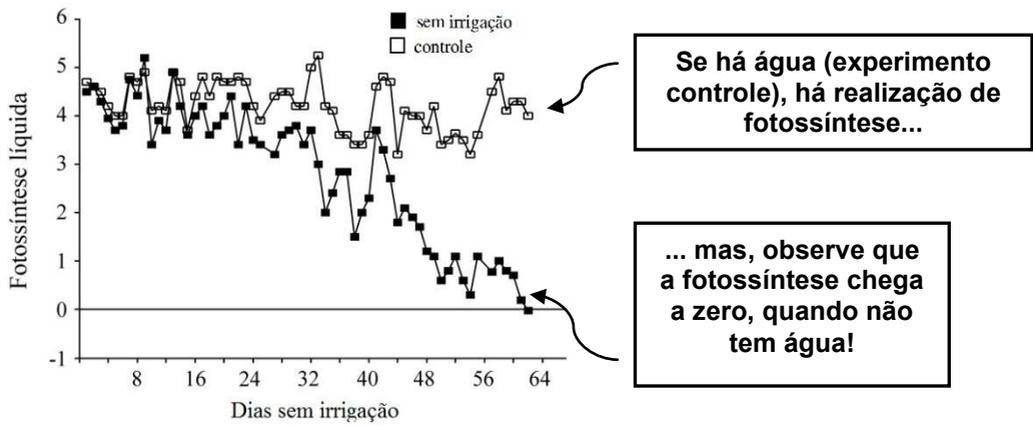
- Dióxido de Carbono (CO₂) – há uma taxa constante na atmosfera (0,03%), não sendo considerado um fator limitante. No entanto, seu aumento, muito discutido atualmente, por causa do aquecimento global, pode acelerar as taxas fotossintéticas até determinado limite. Testes em estufa demonstraram o efeito acelerador da taxa fotossintética na presença de mais CO₂. Mas tenha cuidado para não generalizar, pois dados de estufa não podem ser transpassados diretamente para a natureza.

- Radiação – as plantas não são capazes de assimilar toda energia que é emitida pelo Sol. Além disso, a radiação não é uniforme no planeta, sendo que existe um gradiente crescente dos pólos em direção aos trópicos. Mesmo com toda disponibilidade de radiação, as eficiências fotossintéticas raramente passam de 10%. Essa limitação está associada às exigências por outros recursos. Desse modo, a radiação também não é um fator limitante.

- Água – esse recurso tem um papel essencial à fisiologia das células, sendo muitas vezes um fator limitante crítico. Observamos claramente essa necessidade quando vemos que sistemas agrícolas (irrigados constantemente) possuem alta produtividade, assim como regiões de alta pluviosidade. Um bom exemplo do efeito e importância da água para a taxa fotossintética foi demonstrada em açai (*Euterpe oleraceae*). As plântulas foram submetidas a estresse hídrico e após 10 dias já se observava uma redução na taxa de

fotossíntese, com parada total de atividade em 61 dias (Fig, 4.10; CALBO e MORAES, 2000). Fica claro que sem água, não tem produtividade vegetal!

Figura 4.10. Fotossíntese líquida ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) realizada por plântulas de açai (*Euterpe oleraceae*) em dois experimentos: submetidas a déficit hídrico e irrigado diariamente.



Fonte: CALBO e MORAES, 2000.

Em locais secos e quentes, como desertos e caatinga, existem plantas altamente adaptadas a garantir seu suprimento de água, como tecidos de reserva (ex. cactos) ou perda de folhas durante o período mais seco, para evitar perda de água por transpiração. Algumas espécies podem apresentar uma fotossíntese diferenciada (fotossíntese do tipo CAM), onde a captura de CO_2 ocorre durante a noite (os estômatos abrem apenas à noite), mas a finalização do processo da fotossíntese ocorre durante o dia (fase clara da fotossíntese), uma vez que há a necessidade da luz nesse processo. Falamos sobre isso no Capítulo 2! Essa é uma estratégia muito eficiente para diminuir a perda de água pela evaporação, devido ao calor do dia.

- Nutrientes – estes são essenciais à manutenção do metabolismo e estrutura da planta. Os nutrientes são obtidos do solo, então um solo pobre nestes recursos pode causar sérias quedas no crescimento da planta. Essa relação é muito bem demonstrada até em casa, num pequeno jardim, que requer adubação constante para se manter.

Os nutrientes que estão mais associados à produtividade são o nitrogênio e o fósforo. Por exemplo, em uma variedade do capim *Brachiaria brizantha* (Poaceae), a omissão de nutrientes afeta fortemente o seu crescimento em vários parâmetros (biomassa, altura da parte aérea e de tamanho de raízes, assim como o número de perfilhos) (Tabela 4.2; MONTEIRO *et al.*, 1995)

Tabela 4.2. Produção de matéria seca (biomassa), número de perfilhos e altura de *Brachiaria brizantha* (Poaceae) sob diferentes omissões de nutrientes.

TRATAMENTO	Matéria seca (g/vaso) ¹			Nº perfilhos por vaso	altura (cm)
	Parte aérea	raízes	total		
Completo	14,27 b	5,90 b	20,17 b	25 b	84 a
Omissão de N	0,08 d	0,10 e	0,19 e	5 d	4 d
Omissão de P	0,82 d	0,47 e	1,29 e	5 d	25 c
Omissão de K	11,17 b	4,93 b	16,10 bc	25 b	65 b
Omissão de Ca	23,91 a	0,65 a	34,56 a	34 a	83 a
Omissão de Mg	7,79 c	1,78 d	9,57 d	17 c	65 b
Omissão de S	7,78 c	3,52 bc	11,30 cd	17 c	59 b
Testemunha	0,07 d	0,14 e	0,21 e	5 d	4 d
Teste F	**	**	**	**	**
DMS (0,05)	4,45	1,97	6,36	7	12,40
CV (%)	18,8	19,9	18,9	14,7	8,9

Análise a tabela, comparando os valores de crescimento entre os tratamentos:

- com todos os nutrientes
- sem P
- sem N

Repare na diferença de valores e a importância desses nutrientes!

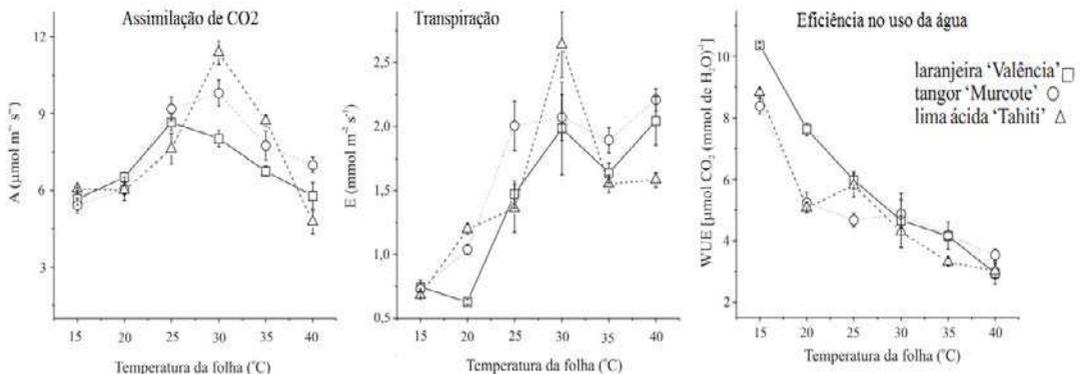
Fonte: Adaptado de MONTEIRO *et al.*, 1995.

Uma condição que está muito associada com a produtividade é a temperatura. Principalmente, porque a temperatura influencia na

disponibilidade da água. Por isso, a temperatura não é considerada um fator limitante, até porque ela não é um recurso, é uma condição. Mas devemos considerar que o aumento excessivo da temperatura pode afetar a fisiologia da planta e levar a uma queda na produtividade.

A influência da temperatura foi demonstrada em três espécies cítricas, laranja (*Citrus sinensis*), tangerina (*Citrus reticulata*) e lima ácida (*Citrus latifolia*). As três espécies tiveram redução na assimilação de CO₂, redução na eficiência de uso da água e aumento na transpiração, quando expostas a altas temperaturas (Fig. 4.11; MACHADO *et al.*, 2005), demonstrando como a temperatura afeta a fisiologia vegetal.

Figura 4.11. Assimilação de CO₂, transpiração e eficiência de uso da água em três espécies de *Citrus* em função da variação da temperatura.



Fonte: MACHADO *et al.*, 2005.

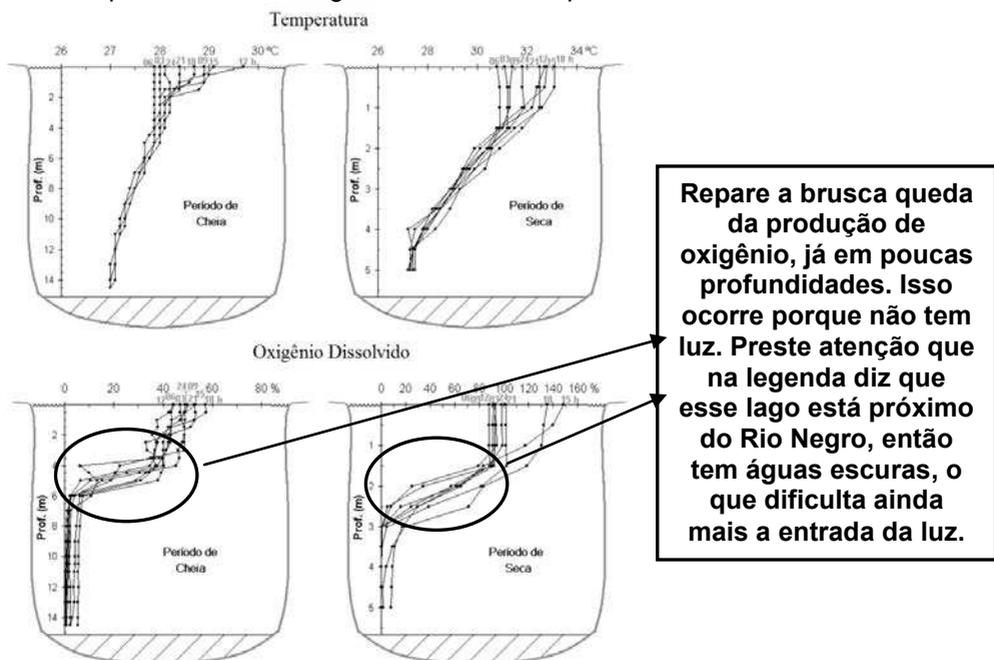
5.2 Ambientes aquáticos

A fotossíntese ocorre da mesma forma em ambientes aquáticos e terrestres, logo, os recursos exigidos pelos autótrofos aquáticos serão os mesmos que os autótrofos terrestres.

- Dióxido de Carbono (CO₂) – O gás carbônico está disponível em ambientes aquáticos, pois esse gás tem grande afinidade com a água, passando por difusão da atmosfera para o ambiente aquático. Logo, os autótrofos não tem problemas para obter esse gás para a realização da fotossíntese.

- Radiação solar – a luz não é capaz de atravessar toda coluna d'água. Apenas, a região superior receberá mais luminosidade e, dependendo da claridade da água, a luz pode alcançar até um pouco mais de 100 metros (em caso de águas muito claras). Essa parte que recebe mais luminosidade é chamada de zona eufótica, enquanto a parte inferior, mais escura é denominada zona afótica. Os organismos fotossintetizantes estão localizados na zona eufótica, sendo esta a que vai exibir maior produtividade e maior taxa de produção de oxigênio (Fig. 4.12) Uma curiosidade: em geral, o fitoplâncton não fica exposto à luz, pois tem sua atividade inibida.

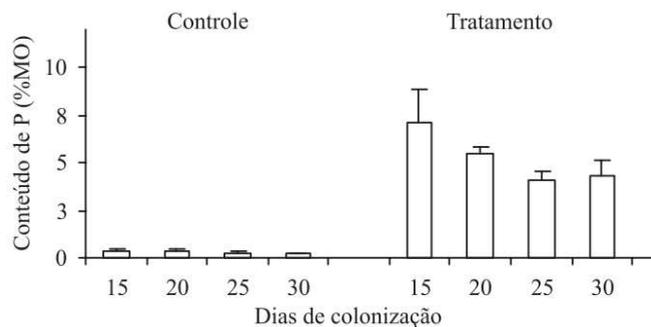
Figura 4.12. Perfil vertical da temperatura e oxigênio no lago Tupé, localizado próximo do Rio Negro em Manaus em período de cheia e de seca.



Fonte: Adaptado de APRILE e DARWICH, 2009.

- **Nutrientes** – assim como no ambiente terrestre, os nutrientes que mais influenciam a produtividade são os fosfatos e os nitritos. Em geral, os nutrientes não estão presentes em grandes quantidades nos ambientes aquáticos e, quando presentes, eles não permanecem na coluna da água por muito tempo, tendendo a sedimentar. Por isso, a presença de nutrientes na coluna da água garante a rápida reprodução do fitoplâncton (Fig. 4.13), contribuindo para o aumento da produtividade.

Figura 4.13. Crescimento de perifiton submetido ambiente controle e com adição de fósforo (tratamento).



Fonte: Adaptado de FERRAGUT e BICUDO, 2009.

6 Eficiência ecológica

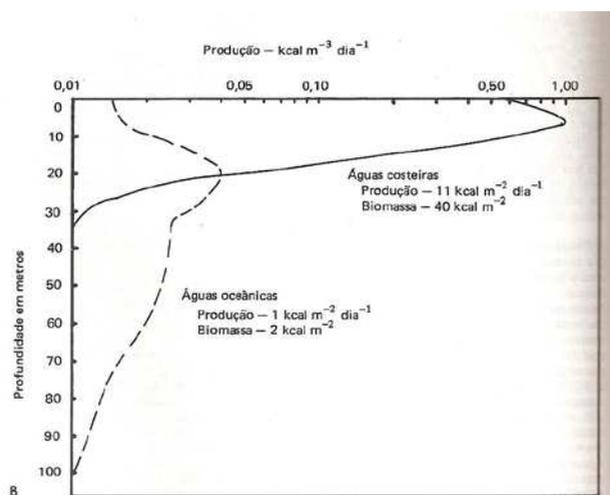
Estudamos até agora que a energia diminui da produção até o último nível trófico, porque parte do que é assimilado é gasto para manutenção as atividades metabólicas. Esse processo começa já com o que as plantas são capazes de assimilar do que é emitido pelo Sol (Fig. 4.1). Lembre que a radiação do Sol também é utilizada para evaporar águas, mover massas de ar e correntes marinhas. A eficiência ecológica é a parte de energia que os organismos assimilam da fotossíntese, no caso das plantas, ou dos alimentos, no

caso dos animais, e convertem em biomassa. Veremos ver como se calculam algumas eficiências energéticas importantes.

- Eficiência de assimilação (EA) - % de energia consumida assimilada.
- Eficiência de produção líquida (EP) - % energia assimilada incorporada ao crescimento, armazenamento e reprodução.
- Eficiência de consumo (EC) - % da produtividade total disponível em um nível trófico que é consumida (ingerida) pelo nível trófico acima.
- Eficiência entre níveis tróficos – $EC \times EP \times EA$. Estima-se que este valor esteja em torno de 10%.

Ampliando seu conhecimento

1 – O gráfico abaixo foi retirado do livro Ecologia (Odum, 1988) e demonstra a produtividade em um ambiente marinho. Como você explica as diferenças nas curvas?



CAPÍTULO 5

CICLAGEM DE NUTRIENTES

1 Por onde os nutrientes do seu corpo já passaram?

Todos os seres da Terra necessitam de nutrientes para compor suas estruturas. Desde os organismos unicelulares, como amebas, até os grandes pluricelulares, como os elefantes, necessitam obter nutrientes para a realização de suas funções metabólicas ou para desenvolver seus corpos.

Dos elementos químicos conhecidos (em torno de 100), aproximadamente 40 são essenciais aos seres vivos. Destes, o carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio são importantes em grandes quantidades, enquanto outros, como o magnésio são exigidos em pequenas quantidades, porém não menos importantes. A falta destes nutrientes pode causar sérios problemas ao organismo, até mesmo impedindo a realização de algumas funções.

Os nutrientes formam uma ponte de interligação entre os organismos e o meio, pois eles passam dos organismos para o meio e vice-versa, em um constante movimento circular, alternando sua condição de inorgânico para orgânico ou no caminho contrário, nos chamados ciclos de biogeoquímicos ou ciclagem de nutrientes. Essa ciclagem permite entender como ocorre o funcionamento dos ecossistemas, pois é possível prever a velocidade de disponibilização dos nutrientes e como esse nutriente pode ser estocado (formação de biomassa ou reserva inorgânica).

Recordando as informações do capítulo anterior, energia e nutriente são essenciais nos ecossistemas. Mas, a natureza da ciclagem dos nutrientes se difere da natureza de produção em fluxo contínuo da energia. Vale a pena analisar novamente a figura 4.1!

Como vimos no capítulo anterior, a energia é essencial à manutenção da vida. Assim como os nutrientes. Mas, quando comparamos o caminho que os nutrientes percorrem com o caminho da energia nos ecossistemas, percebemos uma diferença clara: a energia não pode ser reciclada, como os nutrientes. Ela é um recurso finito, que deve estar em constante produção. Já os nutrientes não são produzidos. Eles apenas mudam de posição e suas combinações na natureza. Então, o carbono que hoje está formando o gás carbônico atmosférico, pode ser utilizado na fotossíntese, incorporado à biomassa vegetal, ser consumido ao longo da cadeia trófica até ser defecado e a molécula da qual ele fazia parte, será decomposta e o carbono será lançado novamente no ambiente para ser utilizado mais uma vez. Imagine por onde os nutrientes que compõem seu corpo já passaram!

Os processos de transformação do nutriente inorgânico para orgânico e vice versa, ocorre de maneira semelhante (do ponto de vista das transformações químicas) em ecossistemas terrestres e aquáticos. No entanto, esses ecossistemas diferem segundo o local em que os processos ocorrem: nos ambientes terrestres, a maior parte das transformações ocorrem entre o solo e organismos detritívoros, de maneira que o nutriente permanece nos locais onde ocorreram as reações. Já nos ambientes aquáticos, a transformação ocorre principalmente no sedimento e o nutriente pode ser carregado por grandes distâncias, sendo utilizado por organismos de outras regiões.

2 Reservas, entradas e saídas do nutrientes

Parece estar claro que os nutrientes podem percorrer grandes distâncias, além de alternarem entre os ambientes terrestres, aquáticos, atmosféricos (no formato inorgânico) ou formando a biomassa de organismos (no formato orgânico). Contudo, de uma maneira geral, podemos identificar os principais reservatórios (pool) dos nutrientes como:

- Pool reservatório – maior, mais lento e geralmente não biológico.
- Pool lábil ou de ciclagem – menor, mais ativo, onde há rápida troca entre organismos e nutrientes.

Com relação os pools reservatórios, os ciclos podem ser classificados como:

- Gasoso – quando o reservatório principal é a atmosfera. Há um grande volume dos nutrientes e é difícil alterar sua ciclagem, pois eles se ajustam bem a mudanças. Ex.: carbono, oxigênio, nitrogênio. Essa é uma das questões que tanto se discute atualmente com relação ao aquecimento global, pois está sendo registrado um aumento na concentração do carbono atmosférico.

- Sedimentar – quando o principal reservatório está localizado em rochas terrestres. Podem ser mais sensíveis a perturbações locais e pode ficar bastante tempo sem ser usado, apenas estocado. Ex.: cálcio e potássio.

- Hidrosfera – os nutrientes estão localizados em rochas ou solo marinho, após sofrerem um processo de deposição. Podem permanecer grandes períodos sem utilização, até serem levados à superfície ou regiões costeiras. Ex.: nitratos e fósforo.

Dessa maneira, a maior parte dos nutrientes permanece estocada e a velocidade da sua liberação, afeta a velocidade com que ele é usado. Como foi dito anteriormente, as reações químicas da reciclagem são semelhantes em ambientes aquáticos e terrestres. No entanto, os processos de liberação dos nutrientes nesses ambientes ocorrem de maneira diferente, ou seja, a forma de entrada e saída do nutriente no ecossistema (reciclagem dos nutrientes) vai depender de qual ecossistema estamos tratando.

Vamos começar falando do ambiente terrestre, onde encontramos a maior parte dos seres vivos. No ambiente terrestre, os nutrientes são liberados dependendo das características das rochas e solos presentes e das condições ambientais. Basicamente, temos o processo de erosão, como o responsável pela liberação de nutrientes das rochas. No entanto, as rochas não são ricas em muitos nutrientes, por exemplo, nitrogênio não está disponível nas rochas. Por isso, outro processo importantíssimo é o processo de decomposição, que consiste na transformação da matéria orgânica em inorgânica, tornando-a disponível novamente para as plantas. Esse processo é realizado por diversos organismos especializados, como bactérias e fungos. Logo, o intemperismo (erosão) e a decomposição são os dois processos fundamentais de liberação de nutrientes em ambientes terrestres.

Com esses processos descritos, fica mais fácil perceber porque no ambiente terrestre os nutrientes ficam próximos do local produzido: quando uma árvore cai ou um animal morre, nesse mesmo local começam a agir os decompositores e o nutriente fica disponível no solo para ser novamente utilizado.

Em ambientes aquáticos, o mais importante é que os nutrientes estejam disponíveis na coluna d'água, pois é lá que o

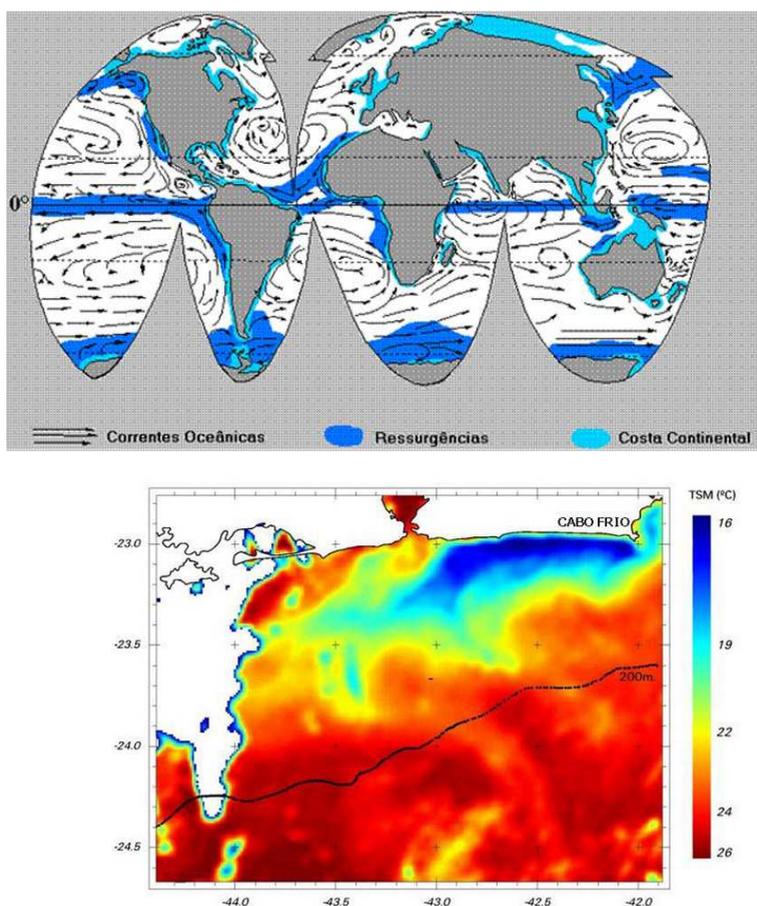
fitoplâncton vai estar para realizar a fotossíntese. No entanto, o processo de decomposição em ambientes aquáticos acontece, basicamente, na região bentônica, ou seja, no fundo. Por isso, a entrada de nutrientes em ambientes aquáticos depende quase que exclusivamente do que está saindo do ambiente terrestre, ou seja, do que está sendo levado pelas chuvas para os rios, lagos, estuários e mares. Assim vemos que o que significa saída do ambiente terrestre, significa entrada no ambiente aquático.

A disponibilidade de nutrientes no ambiente aquático vai depender da natureza do corpo d'água. Lagos, por serem corpos de água mais paradas, recebem seus nutrientes da erosão das rochas e solos dos arredores. Por isso, podem ter uma concentração maior de nutrientes acumulados. Rios podem ter uma variação na concentração de nutrientes, dependendo de suas características de águas mais rápidas ou mais lentas. Esses corpos d'água estão muito sujeitos às mudanças do meio externo, sofrendo grande alteração na sua carga de nutrientes provenientes de atividades humanas. Já o mar, recebe nutrientes trazidos pelas águas dos rios e erosão das rochas e solos adjacentes pela água da chuva. As regiões costeiras são as mais ricas, o que associado às áreas de maior luminosidade, possuem as maiores taxas de produtividade.

Nesse sentido, o oceano pode ser considerado um deserto em nutrientes. Um destaque deve ser feito para as regiões oceânicas que possuem um fenômeno chamado de ressurgência, que são, áreas onde os nutrientes são trazidos do fundo por ação das correntes marinhas (Fig. 5.1). Nessas regiões, a água gelada do fundo vem à superfície e traz consigo os nutrientes que estavam acumulados no fundo (vale lembrar que no ambiente aquático o nutriente tende a ir para o fundo, não permanecendo na coluna

d'água). Com esses nutrientes sendo trazidos à coluna d'água, a produtividade é estimulada e essa acaba sendo uma região que suporta grande biodiversidade. No Brasil, encontramos regiões de ressurgência em algumas partes da costa, como no norte Rio de Janeiro (Fig. 5.1), o que torna essa região de grande importante para a indústria pesqueira.

Figura 5.1. A) Correntes marinhas mundiais, destacando as regiões de ressurgência; B) Mapa térmico das águas oceânicas no litoral de Cabo Frio, RJ, demonstrando as correntes frias de fundo (ressurgência) que chegam na região.



Fonte: <https://descobrindoamar.wordpress.com/2012/09/27/ressurgencia-lendo-e-entendendo/>

3 Ciclos Biogeoquímicos

3.1 Ciclo da água

Este ciclo envolve os diferentes processos de modificação física da água (Fig. 5.2). A maior parte da água está na forma líquida na natureza e, mais especificamente, nos oceanos (97,3%). O restante da água líquida está localizada em rios e lagos (0,01%) e em lençóis subterrâneos (0,67%). Temos ainda a água na forma sólida localizada nas calotas polares e geleiras (2,06%) e a água na forma de vapor na atmosfera (0,08%). Podemos perceber que uma pequena parcela de água está disponível para ser utilizada pelos seres vivos, mas ela é essencial para a manutenção da vida.



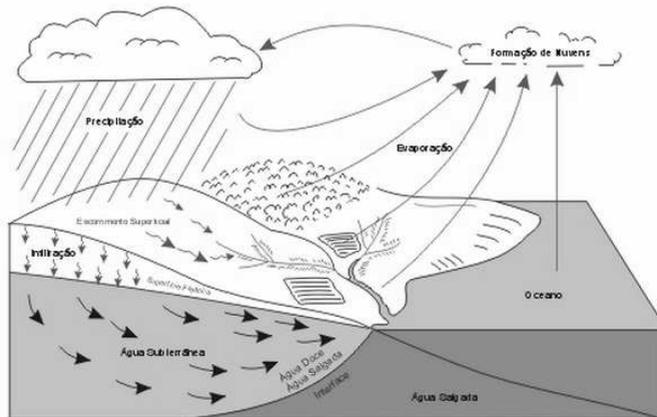
O ciclo da água depende da intensidade de energia radiante, pois ela é responsável por provocar a evaporação dos corpos líquidos para a atmosfera, formando as nuvens. Vapor d'água também é eliminado através da respiração dos seres vivos e da evapotranspiração das plantas.

O vapor tende a precipitar na forma de chuva, neve ou granizo. Parte dessa água será absorvida pelo solo, formando os lençóis freáticos subterrâneos e parte cairá diretamente em corpos líquidos (Fig. 5.2).

Vale ressaltar que a água é um recurso essencial à vida, pois ela é solvente de várias substâncias, além de fazer parte da estrutura dos organismos. Varias alterações no meio podem contribuir para o comprometimento de sua qualidade, como o desmatamento que torna o solo mais compacto e dificulta a infiltração da água, além de aumentar a erosão e o acúmulo de sedimentos nos rios e lagos. A

poluição é um sério problema atualmente, pois compromete as características físicas, químicas e biológicas da água, deixando-a menos potável.

Figura 5.2. Ciclo da água



Fonte: HEAT, 1983.

3.2 Ciclo do carbono

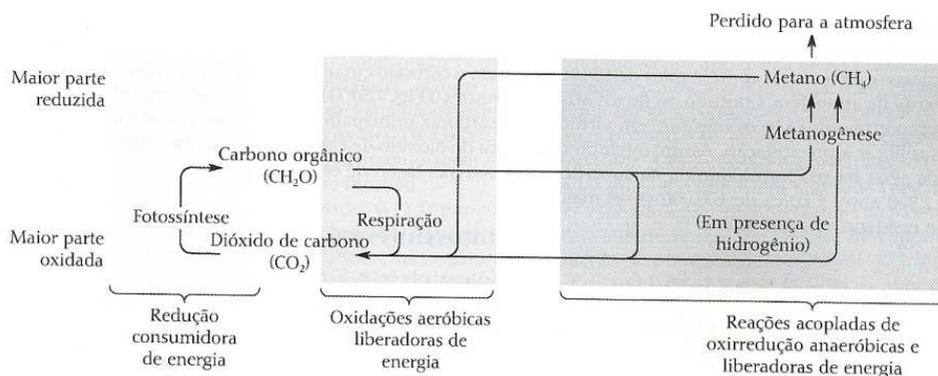
Quando pensamos no ciclo do carbono, imediatamente o relacionamos ao oxigênio e isso está correto. No entanto, o ciclo do carbono vai muito além das suas relações com o oxigênio. Na verdade, pode-se dizer que no ciclo do carbono há três etapas importantes, sendo essa relação carbono-oxigênio, a de menor proporção.

O ciclo do carbono pode ocorrer em ambiente aeróbio ou anaeróbio. Na presença do oxigênio, no ambiente terrestre, o ciclo do carbono está relacionado às atividades de respiração e fotossíntese (Fig. 5.3). No caso de não haver oxigênio, como no subsolo ou ambientes lodosos, o carbono é decomposto por bactérias especializadas e o produto dessa reação é o metano. Esse processo

é chamado de metanogênese (Fig. 5.3). Essa é a primeira parte do ciclo do carbono.

O metano é um gás altamente carburante e pode ser usado para produção de energia. Esse é o produto, por exemplo, da decomposição de matéria orgânica e, aterros sanitários. Atualmente, os aterros mais modernos se utilizam de tubos coletores desse gás, que é usado para geração de energia no próprio aterro ou em localidades próximas. O metano também é produzido em biodigestores, estruturas onde resíduos orgânicos, geralmente fezes de animais, são depositados para que a decomposição seja feita. Cada vez mais biodigestores estão sendo construídos em fazendas, cooperativas e indústrias com o objetivo de geração de sua própria energia. Em pouco tempo, o proprietário recupera o investimento feito na sua construção.

Figura 5.3. Ciclo do carbono.



Fonte: RICKLEFS, 2010.

As duas outras partes do ciclo ocorrem em ambiente aquático, isso porque o carbono tem alta afinidade com a água salgada e pode entrar no ambiente aquático através da simples difusão. O gás carbônico do ar se dissolve rapidamente na água, formando ácido carbônico ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$). Essa difusão é importantíssima

porque o oceano se torna um grande reservatório de carbono, ajudando a controlar a taxa de gás carbônico na atmosfera e sendo mais uma forma de combater o efeito estufa.

Finalmente no mar, ocorre a terceira etapa do processo: a precipitação do carbono na forma de calcário ou dolomita (ele afunda e fica acumulado no sedimento). Essa reação começa a partir do ácido carbônico, que se dissocia em hidrogênio, bicarbonato e íons carbonato ($\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$). O íon bicarbonato reage com o cálcio formando carbonato de cálcio ($\text{Ca}_2^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{CaCO}_3$). Mas, esse é um processo muito lento (mais de 100x).



A maior parte do carbono do planeta está acumulado em rochas sedimentares no fundo do mar.

A parte do ciclo do carbono localizado na região costeira é muito sensível a mudanças e nesse caso, muito se discute a influência e importância do homem nesse processo. Nas últimas décadas tem havido o aumento do carbono proveniente do ambiente terrestre e também na liberação do dióxido de carbono atmosférico, além do metano. Esses gases tem influenciado no aumento da temperatura do planeta. Mares tropicais tem tido o aumento da sua temperatura média, além de terem cada vez mais entradas de matéria orgânica e taxas de calcificação reduzidas. Toda essa alteração, afeta organismos de biologia sensível e tem tido implicações importantes em organismos calcários. Por exemplo, recifes de corais que, particularmente, utilizam esses recursos e são

muito exigentes em sua biologia, estão sofrendo com a acidificação dos oceanos.

3.2.1 O efeito estufa

O efeito estufa é um processo fundamental para a manutenção da vida na Terra. O acúmulo de gás carbônico na atmosfera permite que a radiação do Sol entre no planeta, e que parte dela permaneça, não sendo irradiada de volta para o espaço (Fig. 5.4). É o mesmo processo que ocorre numa estufa de produção de plantas: o calor permanece e a variação da temperatura não é grande durante o dia e a noite.

Um erro comum de interpretação é dizer que se deve combater o efeito estufa. Sem efeito estufa não há vida na Terra! Por isso, não confunda efeito estufa com aquecimento global.

No entanto, o aumento da taxa de gás carbônico atmosférico vai promover também o aumento do calor retido e, conseqüentemente, da temperatura do planeta. A concentração de gás carbônico na atmosfera aumentou de cerca de 280 partes por milhão (ppm) em 1750 para cerca de 370 ppm nos dias atuais. Muito se discute sobre as causas desse aumento, havendo cientistas que dizem ser um processo natural, enquanto outros dizem ser um processo acelerado por ações humanas, como a queima de combustíveis fósseis. Essa é uma discussão ainda sem um consenso. Os cientistas que defendem que o aquecimento global tem causa antrópica afirmam que, após a revolução industrial, o homem começou a extrair as reservas de combustíveis fósseis (carvão, gás e

petróleo) e lançá-las na atmosfera. Uma vez que o produto da queima desses combustíveis é a liberação do gás carbônico e do metano, esse processo teria interferido no ciclo do carbono, contribuindo para potencializar o efeito estufa.

Figura 5.4. Demonstração do efeito estufa



Fonte: <http://www.rudzerhost.com/ambiente/estufa.htm>

Por outro ponto de vista, cientistas afirmam que sempre houve uma variação natural da temperatura do planeta. Eles afirmam que, por mais que as ações humanas sejam intensas, variações climáticas globais é que controlam esse processo. Esse é um tema muitíssimo atual e vale a pena manter-se atualizado sobre o assunto e os argumentos das duas partes. Para quem tem interesse, sugiro como ponto de partida dois artigos: um do prof. Dr. Luiz Carlos B. Molin, que acredita que esse é um processo natural e escreveu um artigo chamado “Desmistificando o aquecimento global” (MOLIN, 2007). O outro é dos profs. Dr. Robson Willians C. Silva e Beatriz L. de Paula, onde apresentam um debate sobre os dois pontos de vista, com muitos dados apresentados sobre o papel do homem no processo – artigo “Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural”

(SILVA e PAULA, 2009). Esses não são artigos recentes, mas possuem argumentos embasadores para se prosseguir no tema.

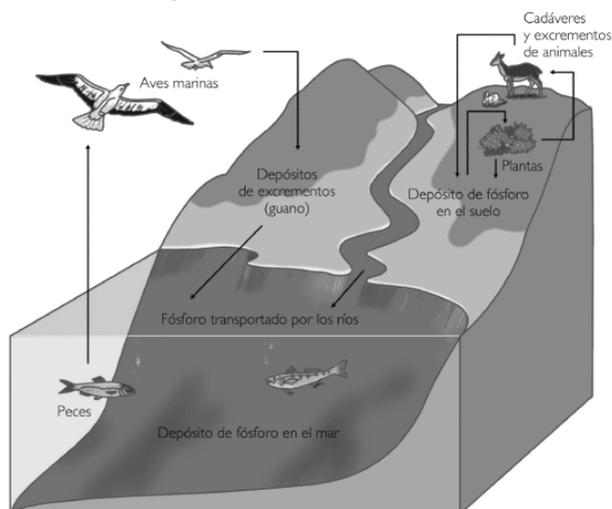
Independente da sua causa, o aumento da temperatura irá promover sérios desequilíbrios, como as águas congeladas em geleiras que podem derreter, já observado em áreas da Groelândia. Isso promoveria um aumento do nível do mar, com alagamento de regiões costeiras. Além disso, as altas temperaturas alteram ciclos reprodutivos de plantas e animais, provoca estresse hídrico em várias regiões do planeta e afeta as áreas disponíveis para a agricultura em várias partes do mundo.

3.3 Ciclo do fósforo

O fósforo é um importante elemento na composição de ácidos nucléicos, além de fazer parte de ossos e dentes. O principal reservatório de fósforo são as rochas sedimentares, mas grandes estoques podem ser encontrados em águas de rios, lagos e oceanos (Fig. 5.5). A água da chuva transporta o fósforo para ambientes aquáticos, onde ele forma compostos insolúveis com o ferro ou o cálcio e precipita. Quando em grande quantidade, como áreas poluídas (com liberação de esgoto ou fertilizantes) pode promover o crescimento exacerbado de algas, com conseqüente redução dos níveis de oxigênio, morte de animais e simplificação dos níveis tróficos, num processo conhecido como eutrofização.

Em ambientes terrestres, bactérias especializadas transformam o fósforo em íons fosfato (PO_4^{3-}), que é a forma como as plantas o assimilam, tanto na água como no solo e torna-o disponível a cadeia trófica. Animais liberam o fósforo pelos excretas, devolvendo-o ao sistema.

Figura 5.5. Ciclo do fósforo.



Fonte: <http://www.kalipedia.com>

3.4 Ciclo do enxofre

O enxofre passa por diferentes transformações químicas (sendo oxidado e reduzido) ao longo do seu ciclo e é um elemento muito importante para os seres vivos porque está presente na composição de aminoácidos. Três processos controlam sua passagem nos ambientes terrestres, aquáticos e para a atmosfera: respiração anaeróbica por bactérias, formação de aerossóis de borrifos do mar e atividade vulcânica (menos importante).

Em condições anaeróbicas, as bactérias *Desulfovibrio* e *Desulfomonas* utilizam a energia do enxofre para oxidar o carbono (quimiossíntese). Elas formam a base da cadeia de ambientes onde não há oxigênio. O produto dessa reação vai depender da disponibilidade de íons de hidrogênio.

Você já sentiu um cheiro de ovo podre passando por algum corpo de água muito poluído?

A ligação do enxofre com o hidrogênio forma o sulfeto de hidrogênio (H_2S). O H_2S é um gás e sai da coluna d'água para a atmosfera. Ele tem um cheiro característico de ovo podre, comum em lagoas poluídas (eutrofizadas).

Nessas condições também pode haver a redução de íon férrico (Fe^{3+}) em íon ferroso (Fe^{2+}), que se combinado com o ferro, forma o sulfeto de ferro (FeS). Essa associação é comum em áreas de minas de carvão e quando em presença da atmosfera pode ocorrer sua oxidação em sulfato (com a ajuda das bactérias *Thiobacillus* em rejeitos de minas). Esse composto queimado pode se associar com a água da atmosfera, produzindo o ácido sulfúrico (H_2SO_4), um dos principais componentes da chuva ácida.

3.4.1 Chuva ácida

Como o gás carbônico está presente na atmosfera e esse composto rapidamente se dissocia na presença da água, formando ácido carbônico (vimos isso no ciclo do carbono), a chuva, naturalmente, possui um pH ligeiramente ácido, em torno de 5,6.

Mas, dependendo dos outros gases presentes na atmosfera, esse valor pode se tornarmuito mais baixo (de 2,4 a 2,8). Os principais gases relacionados à formação de chuva ácida são os gases dióxido de enxofre (SO_2) e os óxidos de nitrogênio (NO_x).

Muito dessa alteração está associada à queima de combustíveis fósseis ou liberação de compostos pelas indústrias. Essa acidez na cidade promove o desgaste de construções, além de afetar a composição de solos, rios e lagos. Há um impacto direto na composição das espécies de animais e plantas que não estão adaptados a tal variação. Além disso, plantas têm seus tecidos

destruídos, diminuindo sua capacidade fotossintética. No homem, o dióxido de enxofre é dissolvido nas paredes do aparelho respiratório, agravando doenças respiratórias ou contribuindo para seu surgimento.

3.5 Ciclo do nitrogênio

O nitrogênio tem papel fundamental na estrutura dos seres vivos, pois ele é usado por todas as classes de compostos bioquímicos, desde lipídeos até ácidos nucleicos. Apesar de ser o gás mais abundante da atmosfera (N_2), ele não é absorvido diretamente, tendo que passar por um ciclo com várias etapas, com o envolvimento de organismos especializados (Fig. 5.6).

As plantas só conseguem absorver nitrogênio na forma de amônia (NH_4^+) ou nitrato (NO_3^-) e para que ocorra a formação desses compostos é necessária a participação de bactérias. Já os animais retiram o nitrogênio da sua alimentação. Quatro etapas formam o ciclo do nitrogênio: amonificação, fixação, nitrificação e aminação.

- Amonificação: é realizada por bactérias saprófitas que decompõem a matéria orgânica e retiram o nitrogênio dos aminoácidos, transformando-o em amônia (NH_4^+). Quando essa amônia se liga a prótons da água do solo, é formado o íon amônio (NH_3). Vale ressaltar que a amônia é tóxica para as plantas, quando em altas concentrações.

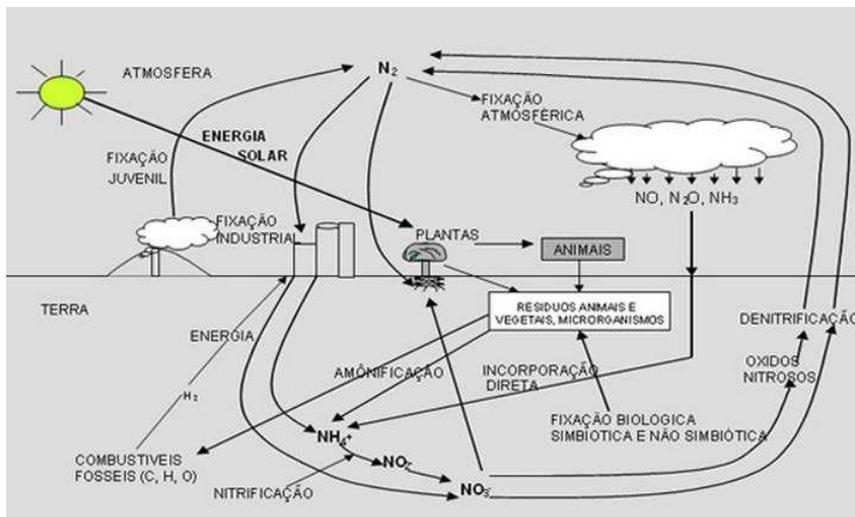
- Fixação: é o processo responsável por retirar nitrogênio do ar e passá-lo para o solo, sendo fundamental para o desenvolvimento das plantas. A principal bactéria responsável por essa transformação é a *Rhizobium*, que vive em associação com as raízes de plantas leguminosas, como feijão e ervilha. Algumas bactérias de vida livre,

como a *Nitrosomonas* (aeróbica) e *Clostridium* (anaeróbica) também podem realizar essas transformações, mas a *Rhizobium* é mais eficiente.

- Nitrificação: bactérias quimiossintetizantes (*Nitrosomonas* e *Nitrosococcus*) transformam o íon amônio em nitrito (NO_2^-) para obtenção de energia. Outro grupo de bactérias quimiossintetizantes (*Nitrobacter*), o transformam em nitrato (NO_3^-), tornando-o disponível para as plantas.

- Aminoação: na célula, o nitrato é novamente transformado em amônia, para poder ser utilizado pela célula na produção de seus compostos.

Figura 5.6. Ciclo do Nitrogênio.



Fonte: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>

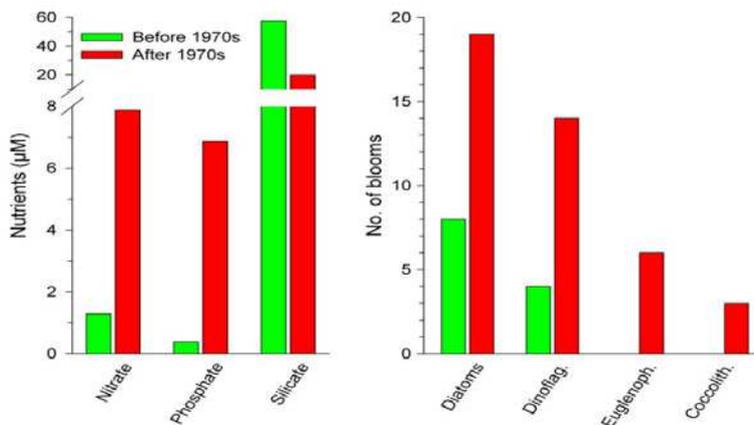
3.6 Eutrofização

Ações promovidas pelo homem alteram o ciclo dos nutrientes com conseqüências graves para o equilíbrio ambiental e para a própria saúde humana. Como casos mais sérios, podemos citar a

liberação de óxido nitroso (N₂O) durante processos de combustão, que destrói a camada de ozônio, liberação de óxidos de nitrogênio (NOx) que são altamente tóxicos para o homem e compõem a chuva ácida (já comentado no item anterior) e a liberação descontrolada de nutrientes nos corpos d'água, que leva ao processo de eutrofização. Atualmente é difícil encontrar um corpo d'água que não esteja eutrofizado. Eutrofização significa que um ambiente aquático está rico em nutrientes (nitrogênio, carbono e fósforo, são os principais).

Com a modernização e o crescimento das cidades, a eutrofização se tornou um problema ambiental global. Uma represa feita no rio Danúbio na década de 70, segundo maior rio da Europa e que deságua do Mar Negro, alterou fortemente a entrada de nitrogênio e fósforo, oriundos da agricultura e águas industriais (Fig. 5.7). Essa variação nos nutrientes, além da eutrofização afetou a composição do fitoplâncton, que mudou de diatomáceas e dinoflagelados para algas calcárias (Fig. 5.7). Lembre da importância do carbono nesse processo!

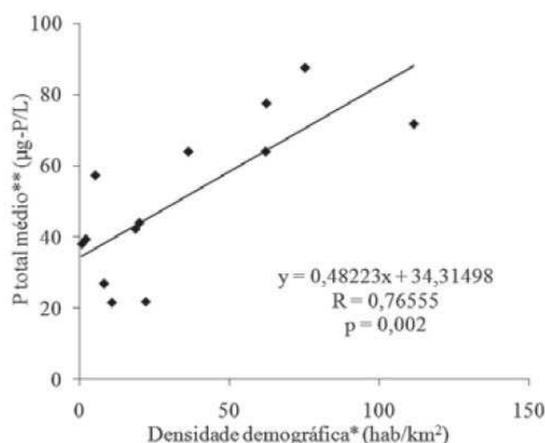
Figura 5.7. Nutrientes e organismos encontrados no Mar Negro antes e depois da construção da barragem no rio Danúbio na década de 70.



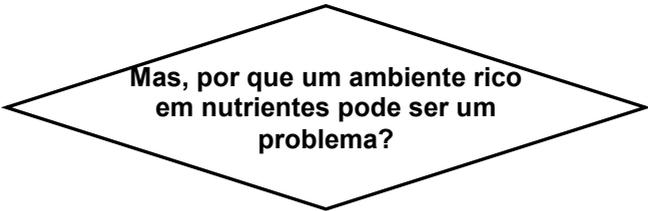
Fonte: JENNERJAHN, 2012.

Apesar do exemplo apresentado ser de um rio da Europa, esse processo não está distante de nós brasileiros. Basta olhar com um pouco mais de atenção para o seu bairro, sua cidade, seu estado e você vai encontrar lagos, açudes, rios, completamente eutrofizados. A figura 5.8 demonstra o aumento na concentração de fósforo em função do crescimento populacional observado no país. O mais impressionante nesse exemplo é que foram analisados 1162 corpos d'água em todo país e a relação é bem clara: o crescimento populacional está diretamente relacionado com o aumento de fósforo nos ambientes aquáticos analisados. Isso significa que quando há crescimento da população humana de maneira descontrolada e sem tratamento adequado na liberação dos resíduos (em especial do esgoto), há grande chance de se ter eutrofização. Logo, os corpos d'água estarão comprometidos para uso humano e animal e a biodiversidade local ameaçada e sofrendo forte impacto.

Figura 5.8. Relação da densidade demográfica e a concentração de fósforo nas regiões hidrográficas brasileiras. Foram analisados 1162 pontos.



Fonte: Adaptado de GALLI e ABE, 2010.



Mas, por que um ambiente rico em nutrientes pode ser um problema?

Inicialmente pode parecer sem sentido, uma vez que sabemos que os nutrientes são importantes para o crescimento populacional do fitoplâncton e, conseqüentemente, para a manutenção da cadeia alimentar (já discutido no capítulo anterior). No entanto, na natureza, todos os processos devem ocorrer de maneira equilibrada, e o excesso ou a falta de qualquer substância poderá causar problemas.

O aumento dos nutrientes, inicialmente, vai causar o aumento da produtividade, porque a população de fitoplâncton estará aumentando. No entanto, com uma maior liberação de oxigênio na água, não só o fitoplâncton irá aproveitar, mas todos os microorganismos presentes terão suas populações crescendo também. O problema é que esses organismos vão começar a competir pelo oxigênio com outros, mas, como são unicelulares, terão seu crescimento acontecendo de maneira muito mais acelerada. Em pouco tempo, haverá uma redução na disponibilidade de oxigênio, com conseqüente mortalidade de peixes e outros organismos maiores.

Em um segundo momento, o ambiente se torna pobre em oxigênio (anaeróbio) e favorece a proliferação de bactérias e cianofícias, que podem liberar toxinas na água, acelerando ainda mais a mortandade dos organismos aeróbios. Paralelo a tudo isso, o aumento de nutrientes, favorece o crescimento de macrófitas aquáticas de superfície, ou seja, plantas que vivem na superfície da água e impedem a entrada de luz, reduzindo a taxa fotossintética. A Tabela 5.1 mostra as principais conseqüências da eutrofização.

Tabela 5.1. Consequências da eutrofização em lagos.

Efeitos da eutrofização
<ul style="list-style-type: none">• Aumento da biomassa do fitoplâncton e de macrófitas aquáticas.• Aumento da biomassa dos consumidores.• Crescimento de espécies de algas potencialmente tóxicas ou não comestíveis.• Crescimento da biomassa de algas bentônicas e epifíticas.• Alterações na composição de espécies de macrófitas.• Aumento da frequência de mortalidade de peixes.• Diminuição da biomassa de peixes e moluscos cultiváveis.• Redução da diversidade de espécies.• Redução da transparência da água.• Gosto e odor e problemas no tratamento de água para abastecimento.• Depleção de oxigênio dissolvido.• Redução do valor estético do corpo de água.

Fonte: GALLI e ABE, 2010.

A eutrofização pode ter causas antrópicas ou naturais. A diferença fundamental entre as duas origens está no tempo que o processo leva. Na eutrofização natural, ocorre a entrada de nutrientes a partir da erosão ou lixiviação do ambiente terrestre ao redor do corpo d'água. Esse processo é lento e leva milhares de anos, dando tempo para o sistema se reequilibrar. Já no processo antrópico, a entrada de matéria orgânica é realizada de maneira intensa e, muitas vezes, constante no corpo d'água. O efeito do aumento da erosão, devido ao desmatamento e à retenção de sedimentos nas barragens, além do lançamento de esgoto, tem implicações para cadeias alimentares e ciclos biogeoquímicos dos mares costeiros, incluindo a liberação de gases de efeito estufa. Nesse caso, o sistema pode estar eutrofizado em menos de uma década. Para uma contextualização final do impacto que o homem pode ter, vale dizer que há registros de sedimentos na margem continental brasileira abrangendo os últimos 85 mil anos, no entanto, temos respostas de mudança do ecossistema da ordem de 1000-

2000 anos e mais intensamente nos últimos 200 anos (JENNERJAHN, 2012).

Como o lançamento de esgoto está muito associado à eutrofização antrópica, é muito comum que esses ambientes também apresentem problemas de poluição, apresentando seus parâmetros físicos, químicos e biológicos fora do padrão de qualidade exigidos.

Aplicando seu conhecimento

1 - Uma estratégia para melhorar a produtividade dos plantios de maneira natural, sem fertilizantes, é fazer uma rotação de culturas ao longo dos anos. Pesquise como essa técnica é feita e por que ela favorece o desenvolvimento da plantação.



Aproveite essa temática para discutir com seus alunos a importância de consumir alimentos orgânicos. Faça uma pesquisa e estimule a busca por esses alimentos na região.

Outra estratégia muito interessante para abordar o conteúdo nutrientes é construindo uma composteira na escola e usar o produto orgânico para adubar o jardim da própria escola. Os alunos participam ativamente e entendem na prática a importância desse sistema.

CAPÍTULO 6

INDIVÍDUOS E POPULAÇÕES

1 Indivíduos

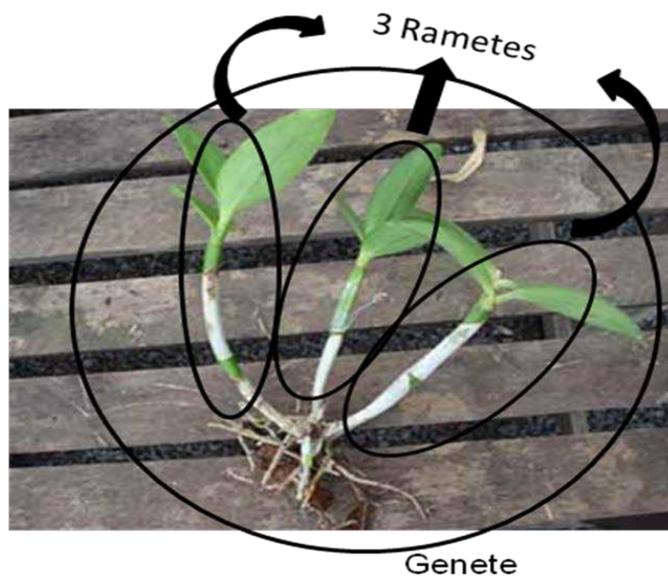
Os indivíduos de uma mesma espécie que vivem num mesmo lugar e formam uma população. Cada um desses indivíduos está sujeito à ação da seleção natural, ou seja, do ponto de vista evolutivo suas características estão sendo avaliadas a todo o momento e serão selecionadas se estiverem contribuindo para torna-lo mais apto ao meio. Portanto, o componente genético dos indivíduos, chamado de genótipo, é de extrema importância! Vale lembrar que o meio tem influência sobre a expressão do componente genético: chamamos de fenótipo a expressão dos genes. Quanto maior a variabilidade encontrada nos indivíduos de uma determinada população, maior será a chance de a população resistir às mudanças no meio.

Quando olhamos a Natureza, podemos ver organismos bastante diferentes. Alguns podemos delimitar facilmente seu espaço e estruturas, como os vertebrados, mas em outros é quase impossível definir todas suas estruturas ou sua área, como os corais. Os primeiros são chamados organismos unitários, enquanto os segundos são classificados como modulados. Os modulados possuem um crescimento muitas vezes diferenciado, sendo comum a apresentação de crescimento clonal, como esponjas e algumas plantas.

Desse modo, quando um indivíduo foi gerado por reprodução sexuada podemos dizer que ele é único (única combinação de genes). A isso, damos o nome de “genete” (*genet*, do inglês), significa que seu material genético é único dentro da população. No

entanto, quando ele é capaz de produzir brotos, estolões ou qualquer outro tipo de reprodução assexuada, o novo indivíduo formado é geneticamente idêntico ao primeiro, sendo então chamado de “ramete” (*ramet*, do inglês) (Fig. 6.1). A reprodução assexuada permite o crescimento das populações, porém não oferece um componente essencial para sua manutenção por longos períodos no meio: a variabilidade genética. Certamente, agora você vai pensar duas vezes quando fizer seu jardim todo baseado em clones, ou seja, em rametes!

Figura 6.1. Representação de um genete de orquídea com 3 rametes.



Fonte: Adaptado de http://www.cultivando.com.br/orquideas_cultivo_4.html.

2 Diferentes estratégias, mas os mesmos objetivo: sobreviver, crescer e reproduzir!

Os indivíduos na natureza tem um objetivo: sobreviver para reproduzir. Suas adaptações para garantir a sobrevivência, como ter

bons mecanismos para capturar suas presas ou bons mecanismos para escapar do predador, garantem maiores chances na sobrevivência. Já com relação à reprodução ele deve contar com sua capacidade reprodutiva e a chance de encontrar com um bom parceiro.

As espécies investem de maneira diferenciada na sua capacidade reprodutiva. Algumas espécies produzem muitos filhotes ou ovos, mas com pouco investimento energético em cada um, o que diminui sua chance de sobrevivência. Esses organismos são chamados de r-estrategistas, como os insetos, que colocam centenas de ovos, necessitam de pouco tempo para o desenvolvimento das larvas e não tem cuidado parental. É comum haver um alto índice de predação desses filhotes.

Por outro lado, algumas espécies investem muita energia na sua reprodução, produzindo poucos ovos/ filhotes, mas cuidando para que eles recebam atenção e energia para o sucesso da sua sobrevivência, como os mamíferos. Neste caso, os filhotes exigem muito tempo dos pais, tanto durante a gestação e, geralmente, também após o nascimento. Esses organismos são chamados de k-estrategistas.

Além dos parâmetros reprodutivos, organismos r- e k-estrategistas também apresentam outras diferenças importantes (Tabela 6.1). Tenha em mente que essa classificação não funciona como um modelo, onde você poderá encaixar todos os organismos do planeta. Ela é na verdade um *continuum*, onde r- estrategistas se encontram em um extremo e os k em outro, podendo haver organismos que se encontram entre um tipo e outro.

Tabela 6.1. Comparativo entre as características de organismos r- e k-estrategistas.

	r-estrategistas	K-estrategistas
Clima	Variável (incerto)	Geralmente constante
Tamanho Populacional	Variável no tempo. Geralmente abaixo da capacidade suporte. Recolonização anual.	Constante no tempo e próxima a capacidade suporte do ambiente. Não necessita recolonização.
Mortalidade	Catastrófica, independente da densidade.	Dependente da densidade.
Favorece a seleção	1 – desenvolvimento rápido 2 – alta taxa de crescimento populacional 3 – reprodução precoce 4 – Pequeno tamanho de corpo 5 – reprodução única (semelparidade) 6 – prole numerosa e de pequeno tamanho	1 – desenvolvimento lento 2 – grande habilidade competidora 3 – reprodução tardia 4 – tamanho corporal grande 5 – reprodução repetida (iteroparidade) 6 – prole de grande tamanho e pouco numerosa
Tempo de vida	Curto (menos de 1 ano)	Longo (mais de 1 ano)
Investimento energético	Produtividade	eficiência
Estagio de sucessão	Pioneiras	Clímax

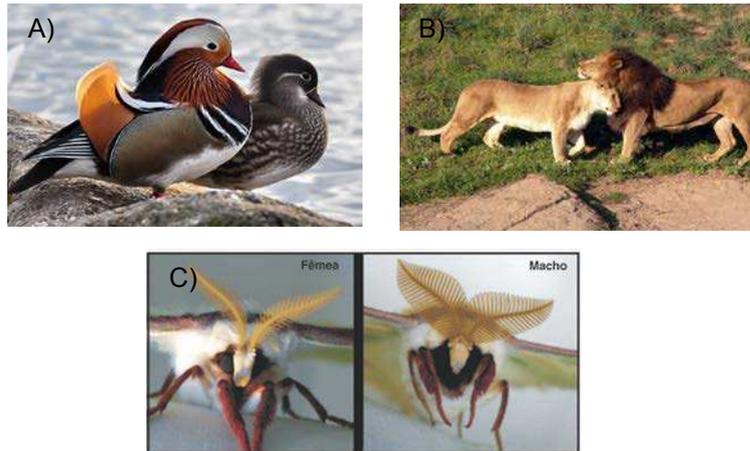
Fonte: Adaptado de BEGON *et al.*, 2007.

Em vários momentos falamos sobre evolução e agora não será diferente: a seleção entra em ação, garantindo que as características que trazem vantagem na reprodução estejam presentes nas gerações seguintes. Chamamos essa seleção de caracteres voltados para reprodução de seleção sexual.

Não é muito difícil você perceber exemplos de seleção sexual, como a diferença de cores que é encontrada entre machos e fêmeas de muitas espécies de aves. Entretanto, aves não é o único grupo a demonstrar essas diferenças! (Fig. 6.2). Em geral, no dimorfismo sexual, o macho é mais colorido, maior ou tem um apêndice diferente para chamar a atenção da fêmea, mostrando-se mais atraente e sugerindo ser um portador de melhores genes. A fêmea é que

escolhe o parceiro sexual, então o macho deve ter atributos suficientes para ser escolhido e garantir a sua reprodução.

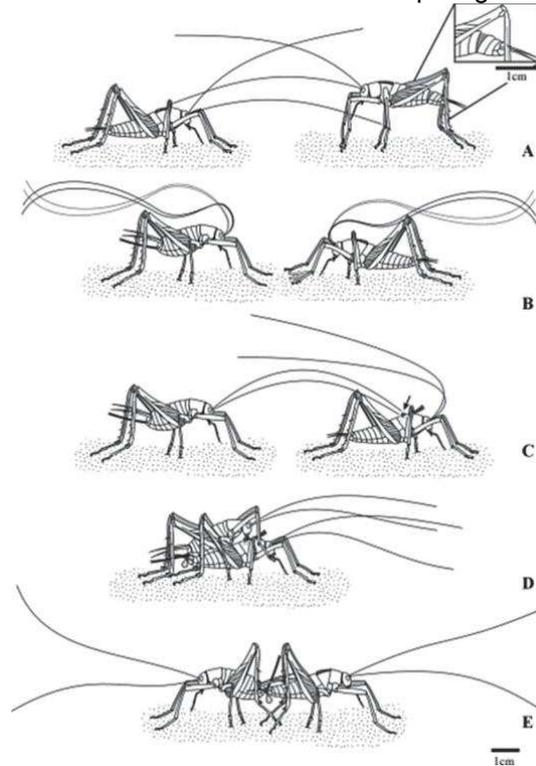
Figura 6.2. Exemplos de dimorfismo sexual em A) aves, B) mamíferos e C) insetos (antena receptora de feromônios em machos de mariposa).



Fonte: <http://explicame-evolucion.com/capsula/dimorfismo-sexual#gsc.tab=0> e <http://biologia-no-vestibular.blogspot.com.br/2012/07/ufrij-2010-ecologia.html>

Uma outra estratégia adotada por muitas espécies é a oferta de um presente nupcial ao parceiro. Geralmente, o macho oferece um presente à fêmea, no intuito de mostrar ser capaz de capturar presas, ou desviar a atenção da fêmea da atividade de cópula, ou ainda para não ser atacado por ela ao final da atividade (em algumas espécies, como em aranhas, a fêmea pode atacar e comer o macho depois da cópula). O macho do grilo *Eidmanacris coumbatai* possui adaptações singulares para atrair as fêmeas: eles fazem um barulho específico, batendo as pernas, liberam ferormônios e ainda expõem uma glândula no seu dorso, oferecendo alimento à fêmea. Para a fêmea coletar a substância, ela deve ficar na posição correta para a cópula, garantindo a reprodução (PRADO, 2006) (Fig. 6.3).

Figura 6.3. Comportamento reprodutivo de *Eidmanacris coumbatai*. A) machos lutando pela fêmea; B) Ondulação - movimento das antenas durante a corte; C) macho expõe a glândula metanotal (seta), facilitando a escalada da fêmea; D) Fêmea se alimentando na glândula e o macho inserindo o espermatóforo na fêmea; E) Posição final: macho e fêmea conectados pela genitália (ponta a ponta).



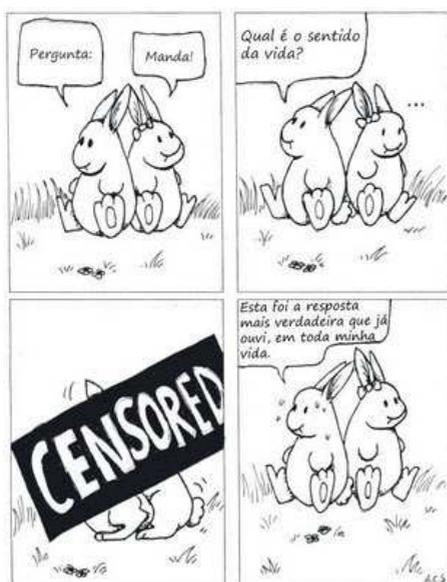
Fonte: Adaptado de PRADO, 2006.

Se fossemos pensar em termos energéticos, ter uma característica selecionada apenas para reproduzir poderia parecer um desperdício. No entanto, devemos considerar que é através da reprodução que haverá a perpetuação dos genes, e para isso, todo esforço vale a pena, porque é a garantia da manutenção da espécie. Percebe-se, então, que a reprodução sexuada é altamente custosa, pois envolve a produção de gametas (óvulos e espermatozóides), investimento em características específicas, comportamentos próprios e, para algumas espécies, cuidado parental.

A seleção está constantemente investindo naqueles caracteres que favoreçam o sucesso sexual. Existe uma “corrida”

constante para manter a aptidão do organismo. Essa é a Hipótese da Rainha Vermelha. A Hipótese recebeu esse nome em referência ao personagem da Rainha Vermelha, presente no livro Alice no País das Maravilhas, de Lewis Carroll. No livro, a Rainha diz: "It takes all the running you can do, to keep in the same place." ("É preciso correr o máximo possível, para permanecermos no mesmo lugar."). Nesse sentido, a evolução exige que as populações tenham variabilidade, para terem mais chances de responder de maneira favorável a uma possível mudança no meio. Desse modo, os indivíduos tendem a ter a variabilidade, para se tornarem cada vez mais aptos e garantir a permanência da espécie no mesmo ambiente.

Na verdade, esta hipótese foi desenvolvida pensando na competição, ou seja, devem ser selecionadas características que diminuam os efeitos negativos da competição e permitam a coexistência das espécies envolvidas. No entanto, essa hipótese permite que se entenda a vantagem que a reprodução sexuada fornece, pois a variabilidade da população só é alcançada dessa forma.

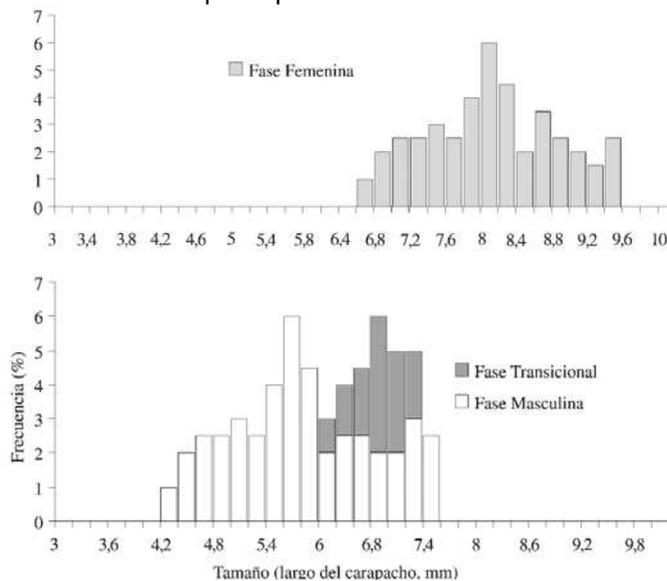


Dentre as adaptações e estratégias que as espécies podem exibir, temos que destacar os sistemas sexuais e sistemas de acasalamento. Essas adaptações envolvem a seleção sexual encontrada na população (sistema sexual) e as maneiras encontradas (interações e organizações entre machos e fêmeas) para se reproduzir (sistemas de acasalamento).

Sistemas sexuais:

1. Hermafroditismo: nesse caso, considera-se que o organismo possui as duas gônadas reprodutivas e, por isso, é capaz de produzir os dois tipos de gametas. Existe hermafroditismo em diversas espécies, desde invertebrados, como corais, cracas e vermes até os vertebrados. Por exemplo, dentre os camarões do grupo dos Caridea, o sexo desenvolvido depende do tamanho do animal (Fig. 6.4). Nesse caso, os indivíduos menores são do sexo masculino e, conforme eles crescem, se tornam do sexo feminino. Essa mudança do sexo masculino para feminino é chamado de protoandria. Já quando a fase feminina é desenvolvida primeiro que a masculina, chamamos de protoginia.

Figura 6.4. Frequência de tamanhos e ocorrência da fase masculina e feminina em uma espécie protândrica de camarão.

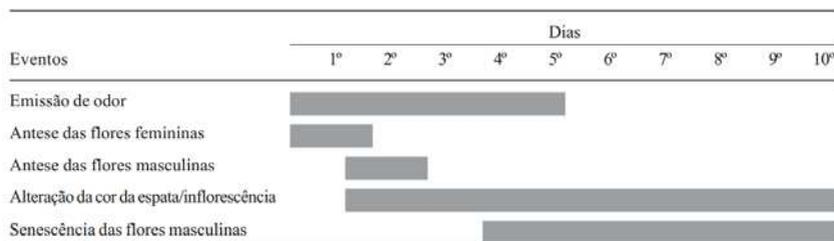


Fonte: BAUER, 2001.

Vale lembrar que plantas também podem ter flores hermafroditas, quando uma mesma flor produz pólen e óvulo. Mas, do mesmo modo que é observado em animais hermafroditas, a

autofecundação, em geral é evitada. Podemos ver animais produzindo os gametas masculino e feminino em momentos diferentes e/ ou em busca de parceiro para a realização de uma fecundação cruzada (onde um fecunda o outro). Em flores hermafroditas, também é possível observar uma variação na maturação dos órgãos sexuais. Por exemplo, a palmeira Tucumã possui flores hermafroditas que duram até 10 dias, mas com protoginia (Tabela 6.2), o que dificulta que ocorra a autopolinização.

Tabela 6.2. Sucesso e duração dos eventos florais em inflorescência de *Astrocaryum vulgare* em Belém, PA.



Fonte: OLIVEIRA *et al.*, 2003.

Dentre os peixes, há um evento curioso sobre hermafroditismo. Há várias espécies conhecidamente hermafroditas, porém o desenvolvimento das gônadas que vão determinar o sexo, vai depender da relação existente na população e também do sistema de acasalamento exibido pela espécie (WERNER, 1984). Essa “mudança de sexo” pode ser chamada de “hermafroditismo serial” ou “hermafroditismo sequencial” e pode ser observada em espécies da família Scaridae (peixe papagaio). Esses peixes reproduzem em área de recifes de coral e costumam apresentar protoginia (WERNER, 1984).

A espécie de peixe papagaio *Scarus iserti* possui pequenas fêmeas jovens de corpo listrado, mas que quando crescem, mudam

de sexo e adotam uma coloração azul brilhante (encontrada em machos mais velhos). O grupo de fêmeas jovens defende território ao longo das bordas dos recifes, enquanto machos e fêmeas que trocaram de sexo têm territórios maiores, e que, normalmente, englobam vários haréns (Fig. 6.5) (WERNER, 1984).

Figura 6.5. Fêmea jovem de *Scarus iserti* (em cima) e fêmea que mudou de sexo e machos (em baixo).



Fonte: WERNER, 1984.

2. Sexos separados: o mais comum de encontrarmos na natureza, são as espécies que possuem sexos separados. A separação dos sexos, ou seja, organismos com gônadas sexuais femininas ou masculinas vão garantir o ponto central da reprodução sexuada: que não haja auto-fecundação e haja a maior possibilidade de fluxo gênico e, portanto, maior variabilidade genética na população. Por isso, que ter sexos separados é tão vantajoso. Viva a Hipótese da Rainha Vermelha!

Em plantas, podemos encontrar os organismos dióicos: são aqueles que só produzem flores masculinas ou só produzem flores

femininas. Essas plantas são altamente dependentes do agente polinizador (agente bióticos ou agentes abióticos), pois não há outra maneira do pólen chegar ao estigma. Assim como os animias de sexos separados são altamente dependentes de encontrarem bons parceiros para sua reprodução. Essa é a única estratégia que garante a maior variabilidade genética possível.

Sistemas de acasalamento:

Os sistemas de acasalamento são as estratégias sociais adotadas para a reprodução. Podemos identificar espécies em que há muitas trocas de parceiros e sistemas onde essa relação é mais estreita e específica. Não podemos especificar qual sistema é o mais vantajoso, pois eles fornecem vantagens e custos diferenciados. Dessa perspectiva, entender vantagens e custos evolutivos é possível através do estudo da história de vida das espécies. Abordaremos os tipo de sistemas que podem ser encontrados:

1. Poligamia: é o sistema onde um indivíduo possui vários outros parceiros, que só reproduzem com ele. Quando o macho é o dominador de várias fêmeas, dizemos que é um caso de poliginia. Já quando uma fêmea possui vários machos, dizemos que é uma poliandria. Esse sistema exige um investimento energético para defesa dos parceiros e, normalmente, de uma área de acasalamento. Em geral, a poligamia é vantajosa para o indivíduo que mantém os outros parceiros porque garante que haja uma grande propagação dos seus genes e é vantajosa para os parceiros, quando a reprodução está ocorrendo em um local com boa disponibilidade de recursos que são defendidos pelo “dono do espaço”.

No besouro broca-do-café (*Hypothenemus hampei*), a poliandria reduz a fecundidade, mas os ovos formados por esse sistema de acasalamento tem maior sucesso de eclosão (Tabela 6.3). Possivelmente, a redução da fecundidade está associada ao alto custo na realização de múltiplas cópulas (COSTA, 2014).

Tabela 6.3. Parâmetros reprodutivos de *Hypothenemus hampei* submetido a monogamia e poliandria.

Parâmetros avaliados	Tratamentos		
	Monogamia (Média ± EP)	Cópulas repetidas (Média ± EP)	Poliandria (Média ± EP)
Nº de ovos/semana	4,06 ± 0,40	3,82 ± 0,34	4,12 ± 0,32
Nº total de ovos	31,38 ± 4,00 a	23,24 ± 2,27 b	21,46 ± 2,40 b
Taxa de eclosão	0,49 ± 0,04 a	0,57 ± 0,03 ab	0,65 ± 0,04 b
Larva:Adulto	0,41 ± 0,05	0,34 ± 0,04	0,39 ± 0,04

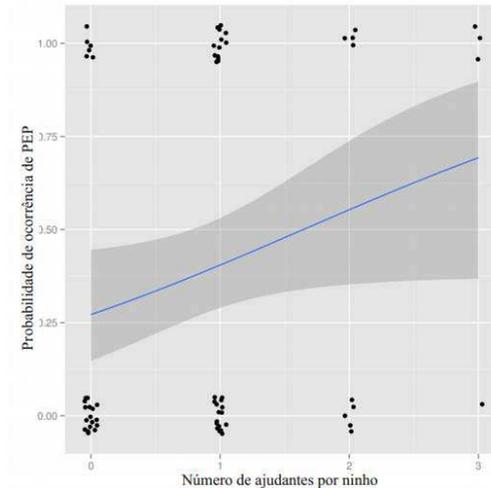
Fonte: COSTA, 2014.

2. Monogamia: A monogamia é caracterizada pela relação reprodutiva duradoura entre os mesmos indivíduos. Esse é um sistema muito comum em aves, principalmente porque o macho pode prover o filhote com alimentos assim como as fêmeas e garantir um maior investimento para a sobrevivência da prole (RICKLEFS, 2010). Nesses casos, o machos pode ter um maior investimento energético seja no cuidado parental, na formação do ninho ou durante sua incubação para compensar o investimento energético feito pela fêmea na produção do ovo. Um trabalho investigando o investimento energético de machos e fêmeas de João-de-Barro (*Furnarius rufus*) em diferentes atividades reprodutivas demonstrou que os machos estão mais envolvidos na busca do alimento que a fêmea (BRAGA, 2012), que fica mais tempo envolvida na incubação e limpeza do ninho.

Estudos mais recentes, demonstraram que a relação monogâmica pode não ser tão estreita e destacam o caso da monogamia social. Nesse sistema, há a relação duradoura entre os casais, no entanto pode haver cópulas extra-par. Ainda se sabe que pode haver também uma reprodução cooperativa, quando outros indivíduos ajudam na reprodução. Esses outros indivíduos podem ou não ser aparentados do casal. Em tiê-do-cerrado (*Neothraupis fasciata*) foi observado que a presença da reprodução cooperativa influencia a paternidade extra-par e uma previsão a partir de modelagem sugere que quanto maior o número de ajudantes, maior a prole oriunda de extra paternidade (Fig. 6.6).

Todavia a seleção sexual segue caminhos muitas vezes difíceis de entender. Por exemplo, alguns organismos não reproduzem, como observado em algumas espécies de aves, onde os indivíduos ajudam no cuidado dos filhotes de outros casais ou no caso de insetos sociais, onde há castas inteiras que não estão envolvidas na reprodução. Acredita-se que esse seja o desenvolvimento de atividades altruístas, com o intuito de abdicar da própria reprodução, mas garantir que os genes de parentes ou do grupo sejam perpetuados. Se pensarmos assim, contribuir com sucesso reprodutivo e a permanência de genes de indivíduos aparentados, é contribuir com a permanência dos seu próprio gen (para uma revisão sobre o assunto em insetos eusociais, RIBEIRO, 2009).

Figura 6.6. Probabilidade de paternidade extra-par em ninhos com ajudantes.



Fonte: MOREIRA, 2014.

3. Promiscuidade: esse sistema de acasalamento é caracterizado pela falta de uma ligação estável entre os parceiros, indicando que os indivíduos podem ter o maior número de parceiros possíveis. Esse é o sistema mais comum de se observar, inclusive em relação às plantas.

A promiscuidade é muito vantajosa para o macho, uma vez que a produção do gameta masculino é de baixo custo e em grande número. Esse sistema pode permitir que um macho distribua seus genes de maneira intensa, mas sem ter a agrantia de quais filhotes realmente sobreviverão.

3 Parâmetros Populacionais: a estrutura da população

Saindo das características mais individuais e partindo para entender as populações, temos que lembrar primeiro:

O que é uma população?
Você é capaz de dar um exemplo?

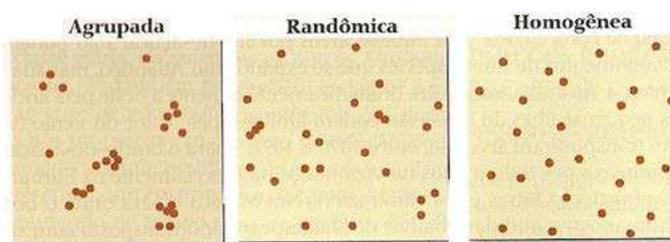
Tenho certeza que você lembra-se desse conceito: população é um conjunto de indivíduos de uma mesma espécie vivendo em um mesmo lugar. Então, você só pode dizer que há uma população se os organismos considerados estiverem vivendo no mesmo lugar. Ex.: comundides de macrófitas aquáticas no açude Taperoá. Você pode encontrar as mesmas espécies de macrófitas no açude de Jatobá, porém será outra população.

Populações apresentam características próprias, parâmetros que permitem que entendamos como ela está estruturada. A estrutura de população depende da densidade da população, a distribuição dos indivíduos no habitat e a relação etária destes indivíduos. Portanto, para entender a estrutura devemos saber sobre:

- Densidade – número de indivíduos encontrados em uma determinada área ou volume (muito comum usar o volume quando se fala de populações de ambiente aquático);
- Taxa de natalidade – taxa de nascimento registrada na população.
- Taxa de mortalidade – taxa de mortes registrada na população.
- Distribuição etária: é a quantificação dos indivíduos que estão em cada faixa etária da população.

Outra questão importante é entender como as populações estão organizadas no ambiente. A distribuição dos indivíduos no meio é uma das formas de se entender a organização e os fatores que estão influenciando a população. Os indivíduos podem apresentar três modelos de distribuição do meio (Fig. 6.7), que são definidas dependendo da capacidade de dispersão dos organismos, da heterogeneidade do habitat e das interações ecológicas existentes (RICKLEFS, 2010).

Figura 6.7: Padrões de distribuição dos indivíduos no habitat.



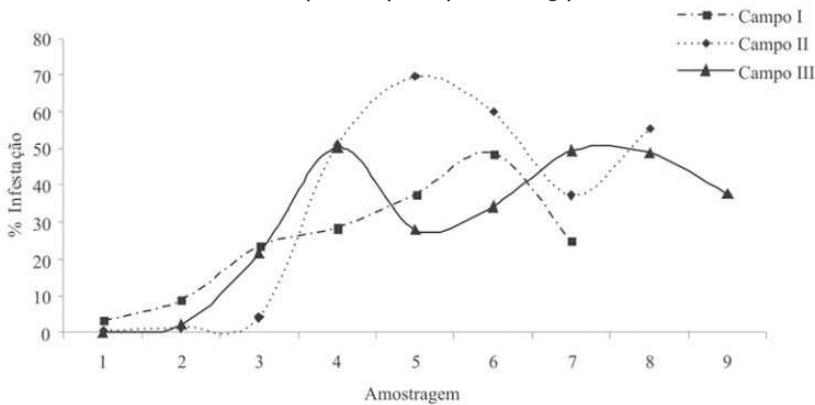
Fonte: RICKLEFS, 2010.

A distribuição agrupada é definida quando os indivíduos estão localizados de maneira agregada, próximos uns dos outros (Fig. 6.7). Um trabalho com plantas arbóreas do cerrado, demonstrou que as espécies estudadas tem distribuição agregada (HAY *et al.*, 2000). O pequi (*Caryocar brasiliense*) e a sucupira branca (*Pterodon pubescens*) apresentaram distribuição agregada quando adultos, mas quando jovens apresentavam distribuição aleatória. A explicação proposta pelos autores é de que essas espécies quando adultas se localizam em habitats ricos em recursos. Porém, quando jovens, elas ainda não sofreram a mortalidade por competição (HAY *et al.*, 2000), ou seja, sobrevivem aqueles indivíduos que são competidores mais fortes e que conseguem permanecer no habitat mais rico em recursos. Aqui nesse exemplo, identificamos um dos principais fatores para a agregação: concentração dos recursos em parte do habitat. Outro fator que pode levar a agregação é a pré disposição de formar grupos de uma espécie, como por exemplo, em primatas. Ainda podemos considerar o crescimento clonal como causador desse padrão.

A distribuição aleatória é definida quando não há um padrão de distribuição claro entre os indivíduos, podendo-se encontrar os organismos em qualquer ponto do habitat (Fig. 6.7). Em geral, não há fatores agregadores ou que separem os indivíduos. A mariposa

Spodoptera frugiperda (Lepidoptera) coloca sua larva no milho (*Zea mays*), causando a principal praga dessa cultura no Brasil, a praga da lagarta-do-cartucho (MELO *et al.*, 2006). Essa lagarta possui distribuição aleatória na cultura, principalmente, devido à sua alta capacidade de dispersão e infestação (Fig. 6.8). Esse conhecimento pode embasar as tomadas de decisão quanto ao combate dessa praga.

Figura 6.8. Porcentagem de plantas de milho infestadas pela lagarta da mariposa *Spodoptera frugiperda*.



Fonte: MELO, 2006.

O terceiro tipo de distribuição, a distribuição uniforme ou homogênea é caracterizada por um padrão regular entre os indivíduos (Fig. 6.7). Um estudo com uma taxocenose de plantas na Serra da Concórdia, RJ, demonstrou que cerca de 30% das 43 espécies estudadas apresentavam essa distribuição, que pode ser explicada por elas serem alelopáticas ou devido aos fatores ambientais (FREITAS e MAGALHÃES, 2014). A alelopatia ocorre quando indivíduos liberam substâncias químicas, que ficam acumuladas no solo ao seu redor, impedindo que outros indivíduos se estabeleçam. Essa é uma estratégia para evitar a competição pelos recursos encontrados.

Uma técnica bastante usada para avaliar o padrão de distribuição dos indivíduos na população é o Índice de Morisita. Para sua aplicação, primeiro deve ser feita uma coleta de dados em parcelas distribuídas na área de interesse (Fig. 6.9). O número de parcela e o seu tamanho devem ser definidos tendo-se como base o tamanho amostral e a espécie estudada, respectivamente. Essa é uma etapa fundamental no planejamento do trabalho! Nessas parcelas, todos os indivíduos da espécie deverão ser contados. Após a coleta, aplica-se o seguinte índice:

$$I_d = \frac{\sum (X_i^2) - N}{N(N - 1)}$$

Onde:

X = número de indivíduos por parcela

N = número total de indivíduos em n parcelas

O índice de Morisita (I_d), vai apresentar um valor entre 1 e -1, e deve ser interpretado da seguinte maneira:

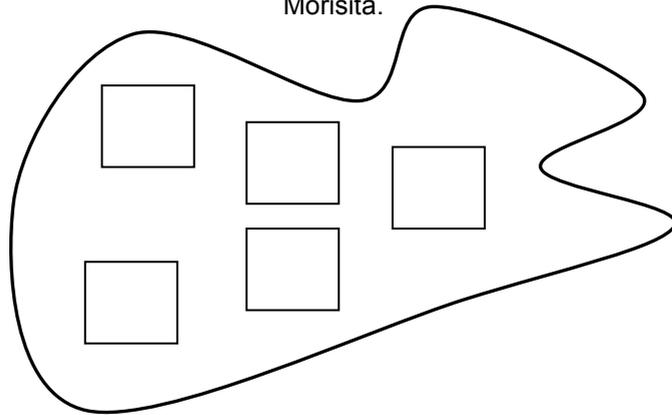
Distribuição uniforme < 1 (valor mínimo = 0)

Distribuição aleatória \approx 1

Distribuição agregada > 1 (valor máximo = n)

A interpretação dos resultados deverá ser feita considerando-se a biologia do organismo, as características edáficas, climatológicas e a qualidade do local, além das interações existentes entre a espécie estudadas e outras que estejam presentes no meio.

Figura 6.9. Esquema de uma área hipotética e da delimitação de parcelas para coleta do número de indivíduos de uma espécie para aplicação do Índice de Morisita.



4 Nascer, crescer, procriar, morrer

Conhecer os processos de nascimento e morte dos organismos na natureza nem sempre é tarefa fácil. Se você pensar em acompanhar a vida de uma mosca, certamente conseguirá definir todas as etapas do seu ciclo de vida, mas se quiser fazer o mesmo com uma tartaruga, já terá muitas dificuldades, seja pela sua biologia, seja pelo seu tempo de vida.

Entender o ciclo de vida de um organismo pode ser difícil, entretanto, é de suma importância para se conhecer o funcionamento e a distribuição de uma população. Esse é o tipo de questão fundamental para se criar estratégias de conservação de espécies ameaçadas. Além disso, o homem pode usar essas informações a seu favor, como visto quando se estudam pragas com o objetivo de controlar o seu crescimento populacional. Sabendo como o ciclo de vida ocorre, pode-se fazer previsões ou atacar determinado estágio de vida mais suscetível.

Logo, estudar os ciclos de vida dos organismos fornece informações a respeito das suas estratégias e das suas fragilidades,

uma vez que se obtém informações sobre seus atributos de vida, que podem ser:

- Idade de maturidade – idade em que o indivíduo inicia suas atividades reprodutivas.
- Parição – número de eventos reprodutivos que o indivíduo pode ter. Assim podemos saber quantas vezes, em média, quantas estações reprodutivas uma determinada espécie pode ter.
- Fecundidade – número de descendentes que um organismo pode deixar.
- Senescência ou envelhecimento – fase em que o indivíduo não tem mais a capacidade de reproduzir e se aproxima da morte.

As espécies tem estratégias diferentes para alcançar o mesmo objetivo (reproduzir com sucesso) e por isso vão exibir diferentes ciclos de vida. Um contraste é feito entre organismos semélparos e organismos iteróparos. Os semélparos são aqueles que reproduzem apenas uma vez na vida, ou seja, investem toda sua energia na reprodução, porque esse só vai acontecer uma vez na vida. Geralmente, eles morrem logo depois da reprodução (RICKLEFS, 2010). Um bom exemplo é o salmão, que nasce no rio, passa a vida no mar, percorrer milhares de quilômetros ao retornar ao rio para reproduzir, reproduz, liberando milhões de gametas e depois morre. A maioria desses organismos é de tamanho pequeno, vivem em habitats efêmeros e investem pouco até a sua maturação.

Já os iteróparos apresentam um padrão contrário: investem fortemente no seu crescimento, são bons competidores e tem vários eventos reprodutivos ao longo da vida, como os mamíferos (RICKLEFS, 2010). Considerando que os organismos conseguem recursos finitos, os iteróparos tem um dilema: qual o melhor momento de reproduzir? A reprodução pode ocorrer logo quando são

jovens maduros ou mais tarde, próximo da senescência. Essa decisão pode parecer trivial, contudo envolve questões importantíssimas, pois o momento da reprodução pode influenciar a sobrevivência do organismo ou da sua prole (BADII *et al.*, 2013), além da taxa reprodutiva (ou seja, a fecundidade) varia ao longo da vida.

Faça uma associação dos semélparos e iteróparos com os organismos r- e k- estrategistas. Você vê semelhanças?

Conhecendo os atributos de uma população, muito pode-se entender do seu funcionamento. Uma das principais técnicas utilizadas para isso é a tabela de vida. Essa tabela é formada com dados relativos ao número de filhotes nascidos, a duração de cada estágio do seu desenvolvimento, quando ele entra na maturidade, sua fecundidade em cada evento de parição, quando ele entra na senescência e quando ele morre (Tabela 6.4). É um raio x de como a população funciona. A tabela de vida é a técnica mais usada para se fazer monitoramento e previsões da dinâmica da população.

Uma aplicação clara da tabela de vida pode ser vista em um estudo que objetivou comparar o desenvolvimento da praga agrícola traça-do-tomateiro (*Tuta absoluta*, Lepidoptera) em culturas convencionais e culturas orgânicas de tomate (MEDEIROS *et al.*, 2009). A principal diferença entre essas culturas está o uso de fertilizantes inorgânicos e no controle químico de praga aplicado na cultura convencional, enquanto na cultura orgânica, usa-se fertilizantes orgânicos e o controle biológico de pragas. Observou-se que a deposição de ovos na cultura convencional foi duas vezes maior que na cultura orgânica (Tabela 6.4). Apesar de não ter havido

diferença na sobrevivência dessas entre as duas culturas (Tabela 6.4), parece que a praga é mais atacada por predadores no sistema orgânico.

Tabela 6.4. Tabela de vida de *Tuta absoluta* em casa de vegetação com solos provenientes de sistema convencional e orgânico de produção.

<i>Tratamento</i>	χ	n_x	l_x	d_x	q_x	l_x
Convencional	Ovo	107,0	1,0000	23,00	0,2150	1,0000
	Larva	84,0	0,7850	31,00	0,3690	0,7850
	Pupa	53,0	0,4953	14,00	0,2642	0,4953
	Adulto	39,0	0,3645	39,00	1,000	0,3645
Orgânico	Ovo	69,0	1,0000	26,00	0,3768	1,0000
	Larva	43,0	0,6232	10,00	0,2326	0,6232
	Pupa	33,0	0,4783	9,00	0,2727	0,4783
	Adulto	24,0	0,3478	24,00	1,0000	0,3478

χ = intervalo de idade

n_x = número de indivíduos de uma coorte vivos no início de cada intervalo de idade

l_x = proporção de indivíduos sobreviventes no início de cada intervalo de idade

d_x = número de indivíduos de uma coorte que morreram durante o intervalo de idade x até x+1

q_x = taxa finita de mortalidade durante o intervalo de idade de x até x+1

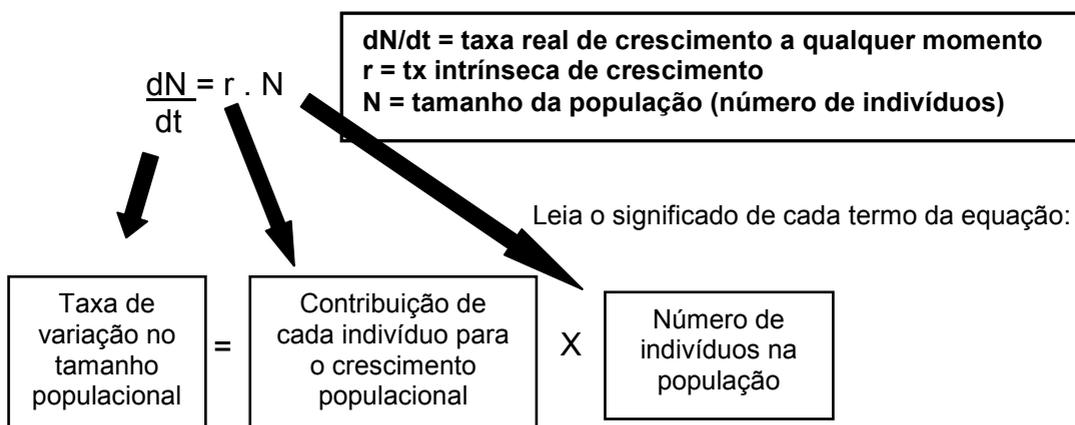
p_x = taxa finita de sobrevivência durante o intervalo de idade de x até x+1

Fonte: MEDEIROS *et al.*, 2009

5 Crescimento Populacional

A capacidade reprodutiva de um indivíduo afetará a dinâmica de sua população, pois, se ele for capaz de se reproduzir com alta velocidade, a tendência é que a população cresça também bem rápido. Nesse caso, espera-se que a taxa de mortalidade também seja alta, para que haja sempre um controle do tamanho populacional. No entanto, se os indivíduos se reproduzem mais lentamente, suas populações podem ter uma regulação também mais lenta.

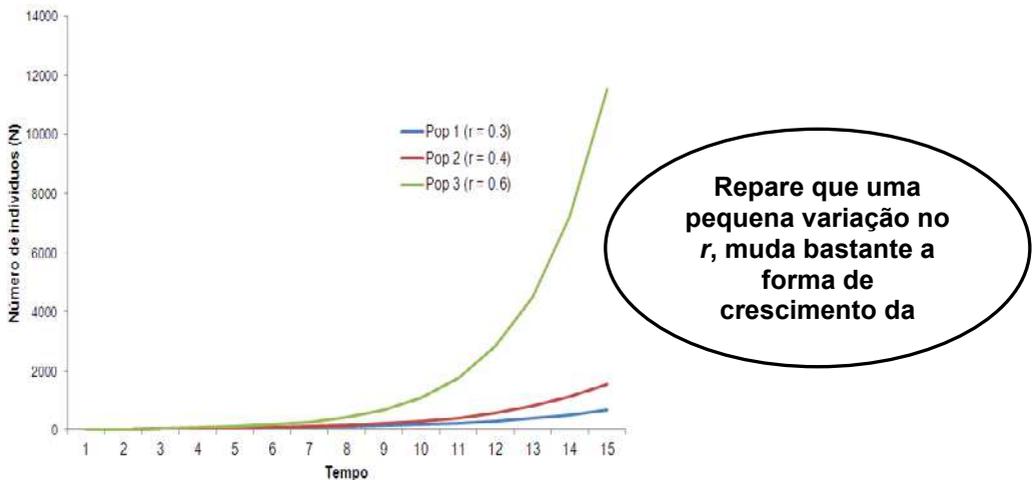
Quando as populações são pequenas e há recurso disponível no meio, as populações têm condições de crescer, pois, a reprodução dos seus indivíduos é favorecida. É fácil entender isso quando vemos como uma população de ratos cresce rapidamente quando encontra uma área abandonada e com recursos: rapidamente as fêmeas engravidam, aumentando o número de ratinhos. Agora imagine esse crescimento acontecendo sem nenhum controle. A população tende a aumentar o seu tamanho, de um modo cada vez mais rápido, pois mais fêmeas estariam nascendo na população e alcançando sua idade reprodutiva. Essa capacidade reprodutiva é chamada de taxa intrínseca de crescimento ou r . Portanto, com uma alta capacidade reprodutiva (ou alto r) o crescimento seria proporcional à densidade (tamanho da população ou N). Se fossemos colocar isso em um modelo para prever o crescimento dessa população, teríamos que considerar que:



Imagine uma população assim! Seria um crescimento infinito, com cada vez mais indivíduos nascendo e logo podendo reproduzir, contribuindo mais intensamente para o crescimento da população (Fig. 6.10). A esse padrão de crescimento chamamos de crescimento

exponencial. Essa é uma situação muito rara na natureza e que, quando acontece, não tende a permanecer por muito tempo. Por exemplo, no caso de espécies invasoras que encontram um habitat muito adequado ou no caso de espécies pioneiras que estão conquistando um novo ambiente.

Figura 6.10. Curva demonstrando o crescimento sem controle de uma população ao longo do tempo – crescimento exponencial.

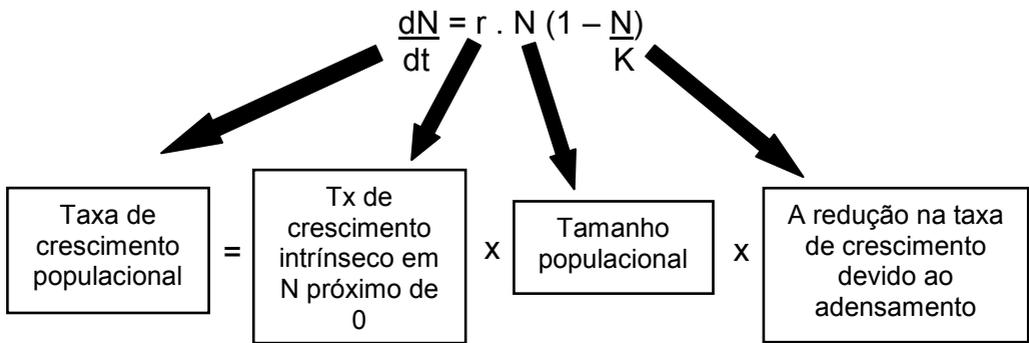


Mas isso não acontece! Por mais que uma população tenha alta capacidade de reprodução (taxa intrínseca de crescimento ou r), em algum momento, o meio não suportará mais indivíduos, simplesmente porque não haverá recurso suficiente para todos. Então, há um momento em que a população não tem mais como aumentar. O número de indivíduos que o meio é capaz de suportar é chamado de capacidade suporte (K) e é essencial para garantir o controle da população.

Quanto maior o tamanho (N) da população, maior a competição, então, maior será a regulação dada pelo K . Logo, quanto maior a população, menor será o r .

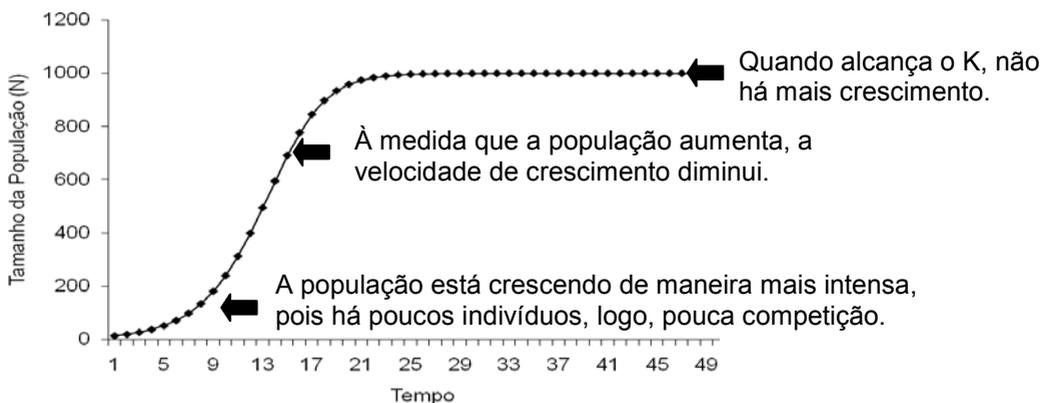
A relação existente entre a capacidade reprodutiva (r), o tamanho da população (N) e a capacidade suporte do ambiente (K) pode ser demonstrada pela seguinte equação:

onde:
 dN/dt = taxa real de crescimento a qualquer momento
 r = tx intrínseca de crescimento
 N = tamanho da população (número de indivíduos)



A partir desta equação é possível construir uma curva característica do crescimento populacional, indicando um crescimento rápido no início e, conforme o tempo vai passando, uma estabilização no tamanho populacional (Fig. 6.11).

Figura 6.11. Curva demonstrando o crescimento de uma população ao longo do tempo e alcançando sua capacidade suporte (K).



Essa é uma maneira de prevermos o comportamento de uma população ao longo de um determinado tempo. Muitos fatores podem influenciar essa modelagem ou previsão do funcionamento de uma população, como variações temporais nos recursos, variações temporais na maturação de jovens ou até efeitos estocásticos, ou seja, aqueles que ocorrem sem qualquer previsão, como furacões ou terremotos.

Quando pensamos comparativamente, é possível perceber que as populações apresentam uma dinâmica semelhante a dos organismos – elas podem nascer, crescer, morrer. Mas quando se fala de população, se fala de uma regulação contínua, onde os fatores que afetam o indivíduo estarão agindo para controlar suas populações. Por exemplo, quando um indivíduo morre, ele ajudará a regular o tamanho da população. Imagine se nenhum indivíduo da população morresse: não haveria espaço, nem recurso suficiente para manter a população por muito tempo. Pode parecer cruel, porém a morte de um indivíduo é essencial para o controle da sua população. Por isso, quando vemos na TV um tubarão comendo uma foca, temos que encarar essa predação tão essencial para o controle das populações quanto o nascimento de um belo ursinho!

É importante pensar que quando falamos na morte de uma população estamos na verdade falando de uma extinção. Pode ser uma extinção local, no caso de espécies que tenham ampla distribuição e diferentes populações. Como também pode se tratar de uma extinção definitiva, no caso de espécies raras ou endêmicas.

Parâmetros como morte e nascimento são os caminhos pelos quais as populações crescem ou diminuem. No entanto, outros parâmetros também contribuem para essas regulações, como os

movimentos de emigração e imigração, que favorecem o aumento e a diminuição da densidade populacional, respectivamente.

6 Alcançando Novas Fronteiras

A locomoção é um processo chave para tudo que estávamos discutindo anteriormente. Mesmo as plantas ou outros organismos que vivem fixos, ao produzir seus descendentes, que serão levados para longe pela ação do vento, água ou carregados por animais, estão dispersando seus genes.

Nesse momento é importante diferenciarmos dois conceitos importantes na ecologia, mas que, muitas vezes, são aplicados de maneira errada: dispersão e migração.

- Dispersão é a capacidade que os indivíduos têm de se afastarem uns dos outros. Pensando na reprodução, é o movimento que os descendentes fazem para se afastarem dos seus genitores. Por exemplo, como uma semente se distancia da planta-mãe para se desenvolver.

- Migração é um movimento que populações realizam de um lugar para outro, como as aves que migram em períodos frios, quando ocorre a baixa na disponibilidade de comida. As migrações podem afetar as populações que vivem nos locais onde os organismos estão chegando, pois ela tende a aumentar a competição pelos recursos.

Aplicando seu conhecimento

1 – Como você acredita que o monitoramento da dinâmica populacional pode ser efetivamente útil na preservação de espécies ameaçadas de extinção? Pesquise alguns estudos de casos.

2 – Tente definir o padrão de distribuição dos indivíduos de uma espécie. Vá ao campo, escolha uma espécie, defina algumas parcelas, faça a coleta dos dados como explicado no capítulo e aplique o índice de Morisita. Essa é uma forma de você aplicar a teoria e entender os padrões que podem estar ocorrendo na sua região.

CAPÍTULO 7

INTERAÇÕES ECOLÓGICAS

1 Ninguém Vive Sozinho

Pense em um ser vivo. Agora pense em como é sua vida. Durante quanto tempo você pensou nele completamente sozinho?

Acredito que bem pouco! Na natureza, por mais que algumas espécies não vivam em grupos ou sociedades, elas sempre estarão interagindo de alguma maneira com outras espécies. Elas se alimentam de outras espécies, competem por alimento, espaço ou parceiro, eliminam excretas ou substâncias que vão interferir em outros indivíduos ou populações, além de muitas outras influências. Desta maneira, os indivíduos/ populações podem interagir de maneira positiva, negativa ou neutra (Tabela 7.1).

Tabela 7.1. Interações ecológicas entre espécies e seus efeitos: + (positivo); - (negativo) e 0 (neutro).

Interações	Espécie	
	1	2
Predação	-	+
Parasitismo	-	+
Competição	-	-
Comensalismo	0	+
Mutualismo	+	+

As interações entre as espécies podem ser modificadas ao longo do tempo evolutivo. Quanto mais recente for uma interação, maior o impacto negativo que ela poderá provocar. Esses tipos de

interações são muito observados em ambientes impactados. Com a evolução e o desenvolvimento do ecossistema, pode-se esperar que as interações mais negativas dêem lugar a interações positivas ou neutras.

2 Quando Um Perde E Outro Ganha

Começaremos discutindo um pouco a respeito das interações onde, pelo menos, uma população é influenciada de maneira negativa. Estudaremos quais são elas, como ocorrem e quais estratégias podem ser adotadas pelas espécies beneficiadas para aumentar seu sucesso e quais estratégias podem ser adotadas pelas espécies prejudicadas para escapar da interação.

Todas as espécies necessitam se alimentar e também podem servir de alimento para outras. De um modo geral, os principais consumidores que podemos encontrar na natureza são os predadores, os herbívoros e os parasitos. A diferença entre eles está na sua dieta e na forma como manipulam suas presas (Tabela 7.2).

Tabela 7.2. Consumidores e suas adaptações de dieta e comportamento.

Interações	Dieta	Ataque
Predadores	Variada	Matam
Herbívoros	Variada	Não matam
Parasitos	Específica	Não matam

A semelhança fundamental entre predadores, herbívoros e parasitos é que cada um, na obtenção dos recursos que necessita, reduz a fecundidade ou as chances de sobrevivência da presa e pode diminuir sua abundância.

2.1 Predação

A predação é a interação onde um indivíduo ataca e subjuga sua presa, consumindo-a logo após sua morte. Geralmente, predadores possuem uma dieta variada.

**Pense em um
exemplo de predação.
Certamente foi fácil!**

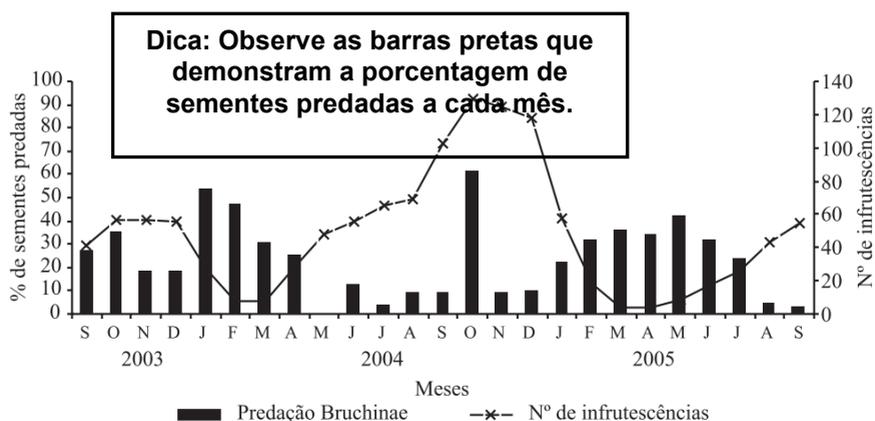
Mas aí vem o desafio: você o pensou em um exemplo como leões que consomem zebras, ursos que consomem peixes, tubarões que consomem focas ou pensou em um exemplo regional? O mais comum e o que nos deparamos mais em termos de divulgação são predações e interações, de um modo geral, que ocorrem em ecossistemas bem distantes da nossa realidade. No entanto, quando conseguimos ter a sensibilidade para ver essas interações no nosso quintal, na nossa rua, no ecossistema onde vivemos, elas começam a fazer muito mais sentido e a sua importância passa a ser mais reconhecida. Se vocês realizarem uma busca rápida, certamente encontrarão muito trabalhos demonstrando exemplos de predação nos biomas brasileiros, incluindo as regiões onde vocês vivem. Isso faz muita diferença quando estamos contextualizando essas interações para alunos do ensino fundamental e médio. Olha quantos exemplos interessantes:

- Em 2009, na região da caatinga de Pernambuco, um trabalho registrou pela primeira vez a predação do calango *Tropidurus cocorobensis* pela bicuda (*Oxybelis aeneus*), uma serpente arborícola, que tem a coloração parecida com a do tronco, ficando bem camuflada (ALMEIDA *et al.*, 2009).

- Em São Lourenço da Mata, PE, foram vistos que ataques a anfíbios anuros em uma poça (considerando ovos, larvas, imagos e adultos) podem ser realizados por uma grande variedade de animais, incluindo hemípteros, aranhas, outros anuros, serpentes, quelônios, aves e mamíferos (SANTOS, 2009). Agora imagine o que não pode estar acontecendo naquela poça que é formada em uma área próxima da sua casa depois de uma chuva? É um local perfeito para você observar muitos exemplos de interações ecológicas.

- Geralmente quando falamos em predação, fazemos logo a associação de um animal comendo o outro. Entretanto, podemos ter predação também quando uma espécie animal consome uma planta. Nesse caso, em geral, o animal consome a planta como um todo ou toda uma estrutura. Um bom exemplo é a predação de sementes da palmeira *Allagoptera arenaria* (Arecaceae) pelo besouro *Pachymerus nucleorum* (Bruchinae). Um estudo registrou que o consumo pelos besouros ocorre ao longo de todo o ano, com ataques chegando a até 60% das sementes analisadas (Fig. 7.1; GRENHA *et al.*, 2008).

Figura 7.1. Porcentagem de sementes de *Allagoptera arenaria* predadas por *Pachymerus nucleorum* e número total de infrutescências no período de setembro de 2003 a setembro de 2005.



Fonte: Adaptado de GRENHA *et al.*, 2008.

A predação, assim como as outras interações ecológicas, pode ser altamente influenciada por alterações no meio ambiente. Um bom exemplo foi demonstrado por um trabalho que investigou o ataque do hemiptera *Notonecta* às larvas de tilápias (*Oreochromis niloticus*) (LOPES *et al.*, 2007). Com os represamentos do Rio São Francisco, na Bahia, a piscicultura foi vista como uma alternativa econômica e muitos criadores investiram na produção da tilápia. No entanto, as perdas começaram a ser grandes devido aos constantes ataques de *Notonecta* às larvas desse peixe. Um estudo, então, foi realizado para tentar identificar os padrões de ataques e concluiu que a fragilidade das larvas era maior quando elas estavam entre 11 a 12 mm. Desse modo, os produtores devem se preocupar com a proteção de larvas desse tamanho (LOPES *et al.*, 2007). Esse exemplo demonstra bem como ações do homem, podem afetar as dinâmicas de outras populações locais.

Perceba que muitos dos exemplos apresentados são da região nordeste. Isso é para demonstrar que precisamos ter sensibilidade na hora de olhar o nosso entorno, pois essas interações estão presentes em todos os lugares, até quando uma lagartixa captura e consome um mosquito na parede da sua sala.

Os organismos dos predadores estão adaptados em função da sua dieta. As adaptações dos predadores são fundamentais para garantir o sucesso do seu ataque e da manipulação de seu alimento. Vejamos estas adaptações:

- As presas tendem a ser menores que seus predadores, o que facilita a captura. No caso de predadores que caçam em bando, é possível subjugar uma presa maior que seu tamanho.
- Predadores tem aparelho bucal adaptado ao seu tipo de alimento: beija-flores podem ter bicos curvos e longos, facilitando o

acesso ao néctar das flores de corolas tubulares; borboletas tem espirotrombas longas pelo mesmo motivo – ter acesso ao néctar; insetos sugadores tem aparelho sugador picador; moscas tem aparelho lambedor, facilitando a obtenção dos nutrientes; e besouros tem aparelhos mastigadores. Além do aparelho bucal, podemos dar maior atenção ao tipo de dente, que também tem relação com a mastigação. Ex. herbívoros possuem molares bem desenvolvidos para mastigação das fibras dos vegetais, enquanto carnívoros possuem caninos bem desenvolvidos para facilitar a morte das presas logo no primeiro ataque e rasgar suas carnes.

- As aves de rapina, como gaviões, possuem garras afiadas para capturar e ajudar a dilacerar a carne de suas presas.

- Cobras possuem mandíbulas que se deslocam, aumentando muito o tamanho de sua boca e facilitando a captura de presas muito maiores que elas.

- Herbívoros podem possuir seu aparelho digestório alongado e associação com microorganismos, com protozoários, que realizam a digestão de fibras e celulose.

Além das adaptações morfológicas e fisiológicas, os predadores também vão apresentar adaptações comportamentais para terem mais sucesso, ou seja, obter mais energia, com a captura das suas presas. Dois modelos clássicos de comportamentos podem ser observados em predadores:

1. Comportamento senta e espera – o próprio nome já diz tudo: o predador é pouco ativo, se limitando a ficar em um ponto e aguardando a presa passar, para ele dar o bote do ataque. Esse comportamento é válido quando o predador está em um local com abundância de presas.

2. Comportamento forrageamento ativo – nesse caso, o predador está buscando ativamente suas presas. Esse maior gasto energético com a busca deve ser compensado com a obtenção de presas de boa qualidade.

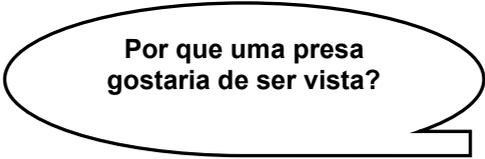
Assim como predadores estão adaptados a capturar suas presas, estas também apresentarão adaptações para escapar do ataque. Aqui vemos uma questão perfeita para lembrar do processo de evolução: quando uma característica favorece o sucesso de um predador durante o ataque, este conseguirá mais energia e tende a deixar mais descendentes com essa mesma característica, fixando-a na população. Mas, por outro lado, quando uma presa possui uma característica que a faça escapar melhor, ela irá sobreviver e deixar descendentes que podem ter melhores chances de escapar também. Vemos claramente a seleção natural em cena e esse processo nunca terá fim.

Então, vejamos algumas estratégias que podem favorecer o sucesso de escape das presas:

- Coloração críptica: seu padrão de pele é parecido com o meio onde ela costuma ficar. É uma camuflagem. Na verdade esta é uma estratégia que pode ser usada tanto por predadores quanto por presas. Uma questão muito importante para garantir o sucesso com a camuflagem é o indivíduo apresentar o comportamento correto. Geralmente, o animal deve permanecer estático, para que não seja percebido por outro organismo. Não adianta um bicho-pau, por exemplo, ficar se movimentando em um tronco, pois logo ele será percebido pelo seu predador. Trabalhos já mostraram que a coloração críptica é uma estratégia muito vantajosa, e um trabalho

realizado com larvas de borboletas (MONTEIRO, 2000) demonstra isso muito bem. O trabalho investigou o padrão de utilização de plantas hospedeiras por larvas de duas espécies de borboletas (*Rekoa marius* e *R. palegon*). O autor verificou que as larvas utilizam 31 plantas hospedeiras, consumindo seus botões florais e também apresentam coloração variada, em função da planta utilizada. As larvas retiram flavonóides do seu alimento e o utilizam para produção da coloração. Essa foi uma excelente estratégia adotada para fugir do predador, possivelmente pássaros, que costumam formar imagens de busca e caçar organismos dentro de um determinado padrão. Se as larvas mudam o padrão, a ave não consegue formar uma boa imagem de busca.

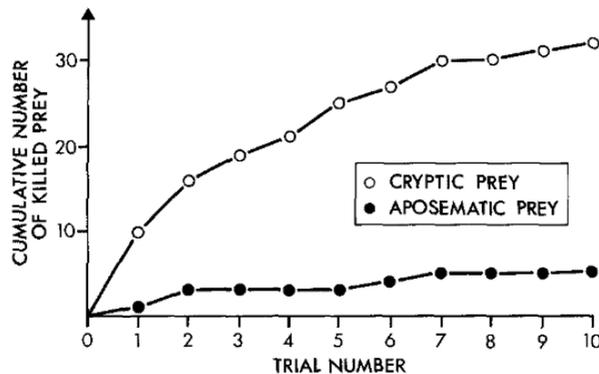
- Coloração de advertência. Nesse caso, a presa é bastante colorida, para que seja visualizada sem problemas.



**Por que uma presa
gostaria de ser vista?**

Essa coloração indica que a presa possui substâncias tóxicas ou é impalatável. Essa estratégia é chamada de aposematismo e é identificada em diversos grupos como abelhas, vespas, borboletas e sapos. Um bom exemplo foi demonstrado com o hemiptera *Lyganeus equestris*, que pode apresentar larvas vermelhas e pretas (aposemáticas) e larvas cinzas (crípticas) (SILLÉN-TULLBERG, 1985). O experimento mostrou que mais de 30% das larvas crípticas são atacadas, enquanto o ataque foi registrado em menos de 5% das larvas aposemáticas (FIG. 7.2). Então, partir de agora, pense bem antes de colocar as mãos em um animal muito colorido!

Figura 7.2. Número acumulado de presas crípticas (branco) e aposemáticas (preto) atacadas.



Fonte: SILLÉN-TULLBERG, 1985.

O aposematismo costuma ser mais eficiente quando o tamanho da população é mediano. Assim, o predador pode realizar alguns ataques até aprender que não é vantajoso ou prazeroso investir em uma determinada espécie de presa. Por isso, a coloração é tão importante: o predador rapidamente associa o sabor desagradável à cor da presa e passa a evitar tal padrão morfológico. O interessante é que podemos encontrar espécies diferentes adotando o mesmo padrão de coloração. Essa estratégia de “imitação” é chamada de Mimetismo Müllleriano e acelera o aprendizado do predador, uma vez que espécies diferentes estão exibindo o mesmo padrão de coloração e possuem sabor desagradável.

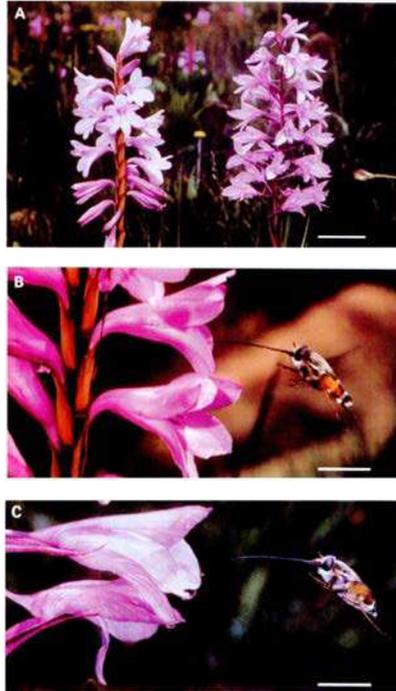
Faça uma pesquisa sobre borboletas do gênero *Heliconius* e observe a semelhança na coloração dessas espécies miméticas. Vale a pena!

Entretanto na natureza, boas estratégias sempre ganham lugar! Por isso, também podemos encontrar espécies que se parecem com outras na morfologia e no comportamento, assim como

vemos no Mimetismo Mülleriano, mas na verdade, uma delas não investe na impalatabilidade. Esses mímicos não gastam energia na produção de compostos de defesa, mas ganham vantagem de estar com um padrão de cores já evitado pelo predador. Certamente, a espécie que é imitada sai na desvantagem, porque o aprendizado do predador pode demorar um pouco mais. O Mimetismo Batesiano só pode dar certo quando o tamanho da população de mímicos é menor do que o da população de modelos. A espécie de percevejo *Cryptanura* sp. (Hymenoptera) e a vespa *Holymeria clavigera* (Heteroptera) parecem estar formando um exemplo desse sistema, pois análises mostraram que há uma grande similaridade de cor, formato, comportamento e distribuição entre eles. Além disso, a vespa possui população quatro vezes menor que o percevejo, sendo um forte indicativo de Mimetismo Batesiano (PEREIRA *et al.*, 2013).

O mimetismo é uma estratégia que pode trazer um sucesso grande e também pode ser observado em plantas. Um trabalho demonstrou bem um exemplo de Mimetismo Batesiano, investigando duas espécies de orquídeas *Disa pulchra* e *Watsonia lepida* (JOHNSON, 2000). Essas duas espécies possuem morfologias florais muito semelhantes, com flores de mesma cor e inflorescências com mesma estrutura (Fig. 7.3), além de similaridade no período de floração. A diferença está na produção do recurso de atração do polinizador: *D. pulchra* não produz néctar, economizando muita energia no seu processo de reprodução, enquanto *W. lepida* possui flores ricas em néctar. O polinizador das duas espécies é a mesma espécie de mosca de língua comprida, *Philoliche aethiopica* (Tabanidade). Devido às semelhanças morfológicas, percebe-se que a mosca visita ambas as espécies (Fig. 7.3).

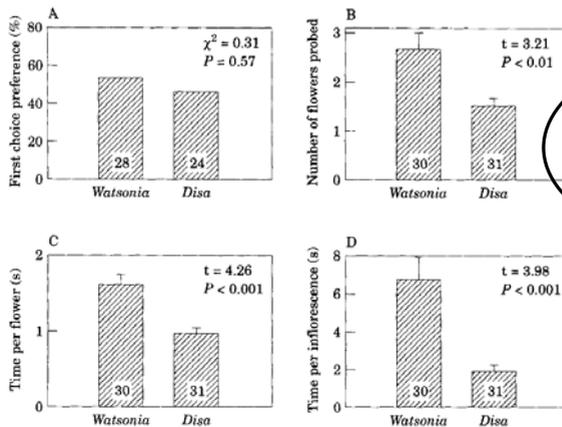
Figura 7.3. A) Inflorescência de *Watsonia lepida* e *Disa pulchra* e *Philoliche aethiopica* visitando as flores de B) *Watsonia lepida* e C) *Disa pulchra*.



Fonte: JOHNSON, 2000

Dessa maneira, *D. pulchra* não tem custo energético para produzir recurso de atração, porém tem sua reprodução garantida, mesmo que o polinizador fique menos tempo em sua flor (Fig. 7.4).

Figura 7.4. A) Taxa de flores preferidas; B) Numero de flores visitadas; C) tempo gasto/ flor e D) por inflorescência de *P. aethiopica* visitando *W. lepida* e *D. pulchra*.



Observe como polinizador prefere o modelo, mas também visita o mímico!

Fonte: JOHNSON, 2000.

- Outra boa estratégia de defesa pode ser a agregação. Animais que vivem em grupo podem ter vantagem em desviar atenção do predador (efeitos da confusão e diluição), fazendo com que o predador não decida qual animal atacar. Além disso, alguns grupos podem ter indivíduos que permanecem na parte periférica do grupo podendo emitir sinais de alerta, quando avistam o predador, como aves e veados.

- Alguns insetos possuem uma parte do corpo mais colorida, mas que só estará evidente durante um momento de fuga. Por exemplo, um gafanhoto com o interior das patas vermelhas, e essa cor só aparece quando ele está voando. Essa é a chamada coloração deceptiva – “flash color”, que serve para desviar a atenção do predador e dar tempo suficiente para a presa escapar.

- Uma estratégia também comum de ser encontrada em peixes e borboletas são padrões morfológicos que lembram olhos, no entanto, essas estruturas estão localizadas em partes não vitais do corpo. Por exemplo: peixes podem ter falsos olhos na calda, pois em caso de ataque, nenhuma estrutura importante será perdida e ainda haverá tempo para fuga.

- A autotomia é uma estratégia encontrada em diversos grupos, tanto em vertebrados (como lagartos) quanto em invertebrados (opiliões e caranguejos, por exemplo). Esta estratégia consiste no animal perder de maneira voluntária um membro ou parte de um membro, mais uma vez, desviando a atenção do predador e ganhando tempo para fuga.

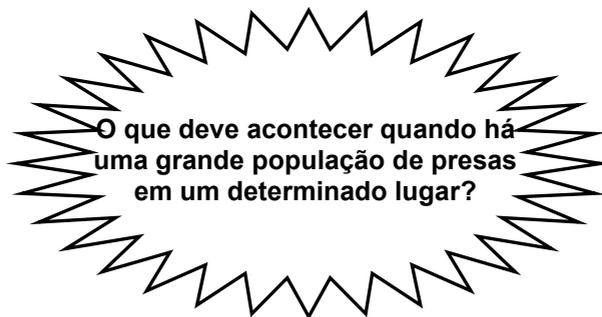
- Por que um animal iria se fingir de morto? A tanatose é uma estratégia tão vantajosa que é observada em animais desde os mamíferos até os insetos. Vale lembrar que predadores, em geral, subjagam, capturam e matam suas presas, consumindo-as

instantaneamente ou em poucas horas. Se uma presa já está morta, ela não é atrativa ao predador. Por isso, essa estratégia é tão boa! (Fig. 7.5)

Figura 7.5. Tirinha em quadrinho, exemplificando uma estratégia de tanatose.



Fonte: <https://nouniversoparalelo.wordpress.com/2010/02/04/fingindo-de-morto-animal-brinks/>

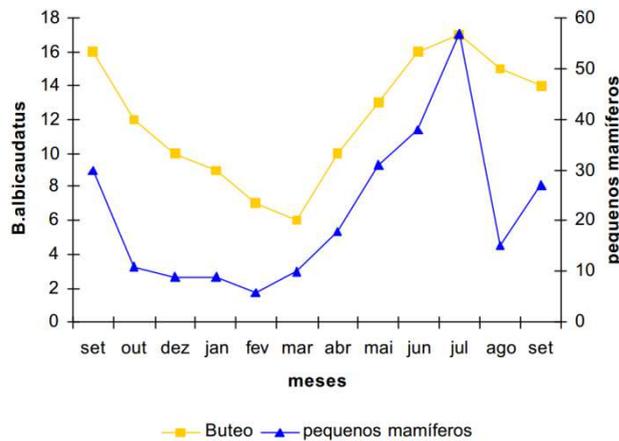


Acredito que você tenha pensado que será mais fácil acontecerem os ataques dos predadores e a população de presas irá diminuir. É exatamente isso que é esperado! Mas com o tempo, a diminuição da população de presas tornará mais difícil o seu encontro pelos predadores, o que significa que menos alimento está disponível. A tendência é que a população de predadores também diminua, pois com menos presas, eles terão menos energia para investir no seu crescimento e reprodução. Com menos predadores

na área, as presas tem novamente a oportunidade de aumentar sua população. E agora voltamos ao início do ciclo, onde há muitas presas, e o encontro com predadores é favorecido, aumentando os ataques novamente. Esse processo é conhecido como a dinâmica da interação predador-presa. A tendência é ocorrer uma flutuação sazonal nas populações de presas e predadores, onde uma população influencia a outra.

Em Juiz de Fora, MG, um trabalho demonstrou que a população do gavião-do-rabo-branco (*Buteo albicaudatus*) varia em sincronia com a abundância do seu principal grupo de presas, os pequenos mamíferos (Fig. 7.6; GRANZINOLLI, 2003).

Figura 7.6. Abundância de gavião-do-rabo-branco (*Buteo albicaudatus*), o predador, e de pequenos mamíferos, as presas, ao longo de 12 meses.



Fonte: GRANZINOLLI, 2003.

Apesar desta relação parecer muito clara, é importante termos em mente que na natureza existem outros fatores influenciando cada uma das populações, como disponibilidade de comida da presa, competição com outras espécies ou efeitos estocásticos. Ou seja, nem sempre é tão fácil visualizar esse padrão na natureza.

O mais importante é ter em mente que apesar de parecer cruel quando um predador come uma presa, esse processo é muito importante na regulação do tamanho populacional das presas. É ruim para o indivíduo, mas favorável para a população e para a dinâmica da comunidade como um todo.

2.2 Herbivoria

Falaremos dos herbívoros de maneira diferenciada porque, assim como os predadores eles possuem uma dieta variada, mas diferentemente daqueles, dificilmente matam suas presas, pelo menos, a curto prazo. Eles costumam consumir parte das presas, como folhas, flores ou frutos.

Na interação herbívoros-plantas também podemos observar muitas adaptações de ambos os lados, e estas estão mais centradas no campo químico ou morfológico:

- Muitas plantas produzem compostos fenólicos, que são substâncias antioxidantes e que combatem o envelhecimento celular. Esses compostos tem varias funções na planta, como ações germicidas, altera do sabor do órgão e ajuda no combate a herbívoros. Um exemplo é o tanino, que é uma substância adstringente e que torna o órgão impalatável (como quando comemos um fruto verde, que possui cica). O efeito do tanino pode ser muito prejudicial para o desenvolvimento de insetos. O tanino presente nas cascas dos caules de quatro espécies de plantas em Minas Gerais age de maneira significativa na redução de vários parâmetros do desenvolvimento de larvas da mariposa *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera), sendo que as larvas se desenvolveram pior quando expostas aos taninos retirados da espécie *Peltophorum dubim* (Fabaceae) (Tabela 7.3; TIRELLI *et al.*, 2010).

Tabela 7.3. Desenvolvimento de larvas de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera) alimentada com rações a base de tanino de 4 espécies florestais.

Tratamento	Peso de lagarta (g)	Consumo alimentar (g)	Peso de fezes (g)	Sobrevivência na fase larval (%)
<i>Peltophorum dubium</i>	0,2334 a	0,2334 a	0,5008 a	58,35 a
<i>Schinus terebinthifolius</i>	0,3778 b	0,3778 b	0,8155 a	86,1 b
<i>Ochroma pyramidalis</i>	0,4176 b	0,4175 b	1,1236 b	80,6 b
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	0,4321 b	0,4794 b	1,4656 c	88,9 b
Água	0,4794 b	0,4321 b	1,4777 c	91,7 b
CV (%)	18,8	13,6	27,0	15,8

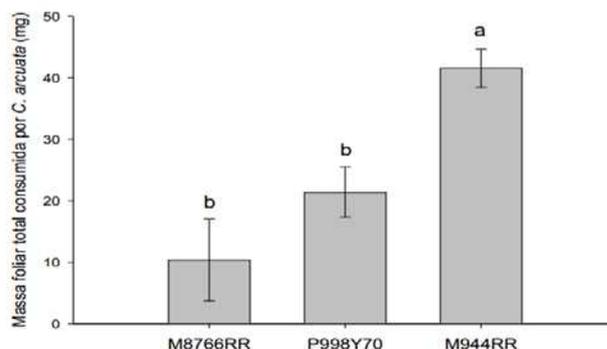
*As médias seguidas pela mesma letra em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Nesse experimento, as larvas foram alimentadas com rações que possuíam taninos, produzidas com as cascas das seguintes plantas: *Ochroma pyramidalis* (Bombacaceae), *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae), *Enterolobium contortisiliquum* (Fabaceae) e *Peltophorum dubim* (Fabaceae). Repare que larvas alimentadas apenas com água, tiveram maior peso e maior sobrevivência que as larvas alimentadas com a ração.

Fonte: TIRELLI *et al.*, 2010.

- A resistência física, como pêlos, espinhos ou carapaças nas sementes, dificultam o acesso do tecido vegetal ao herbívoro. Em cultivares de soja, foi observado que a presença de tricomas nas folhas reduz de maneira significativa o ataque do besouro *Cerotoma arcuata* (Coleoptera) (Fig. 7.7), sendo que no cultivar M8766RR, que possui mais tricomas por área, o efeito foi mais efetivo.

Figura 7.7. Massa foliar consumida pelo crisomelídeo *Cerotoma arcuata* em três cultivares de soja.

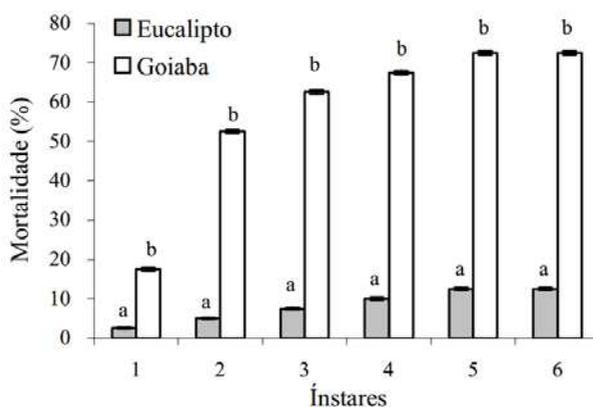


Fonte: RODRIGUES *et al.*, 2012.

- Mais uma proteção morfológica é a planta manter altas concentrações de lignina e celulose, substâncias que tornam as plantas mais fibrosas e de difícil digestão.

- A produção de compostos secundários tóxicos, ou seja, compostos que não são usados diretamente na fisiologia do organismo, mas produzidos com o objetivo de defesa, são um custo extra para a planta, mas compensam quando se considera que o ataque de herbívoros será reduzido. Isso parece acontecer com goiabas (*Psidium guajava*), quando atacadas pela lagarta de *Thyriniteina arnobia*. As lagartas tiveram maior mortalidade quando estavam nas goiabeiras do que quando nas plantas de eucalipto (Fig. 7.8; HOLTZ *et al.*, 2003).

Figura 7.8. Mortalidade de larvas de *Thyriniteina arnobia* em goiabeira e eucalipto.



Fonte: HOLTZ *et al.*, 2003.

E na contramão destas adaptações, os herbívoros desenvolveram estratégias para escapar destes problemas:

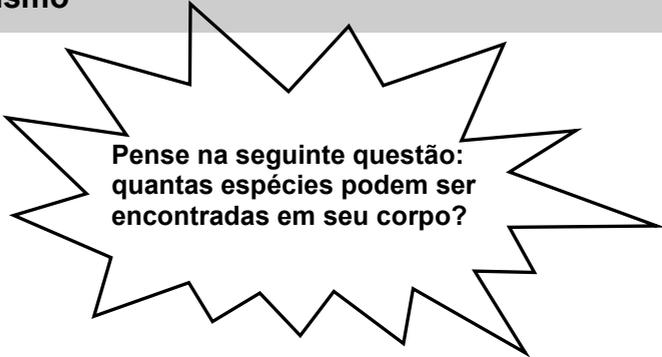
- Adaptações do sistema digestivo e associações com bactérias e protozoários para lidar com os compostos mais difíceis e com a celulose.

- Vias metabólicas alternativas para inativar os compostos tóxicos.

- Consumo de folhas jovens, que possuem menos fibras.

Assim como, predadores controlam as populações de presas, os herbívoros também podem exercer tal efeito sobre a população de suas plantas.

2.3. Parasitismo



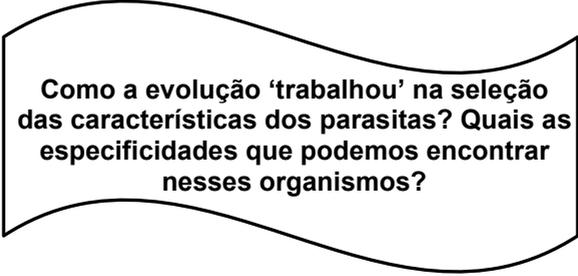
**Pense na seguinte questão:
quantas espécies podem ser
encontradas em seu corpo?**

É assustador, mas estima-se que 1kg do nosso peso seja de microorganismos (<http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2014/316/a-microbiota-humana/>). Imaginar a quantidade de espécies que podem ser encontradas vivendo sobre ou dentro de outras espécies é muito estranho. Mas, nem todas, na verdade a minoria, pode ser considerada parasito. Um parasito é um organismos que vive intimamente associado a outro indivíduos de uma outra espécie, seu hospedeiro, retirando recursos do hospedeiro e o prejudicando, porém sem o matar a curto prazo. É também bem interessante pensar que a maioria desses microorganismos nos nossos corpos é na verdade benéfica (tem uma relação mutualística), entretanto, basta uma espécie patogênica (parasita) para criar sérios problemas de saúde! Esse assunto é tão importante que atualmente existe o Projeto Genoma Microbioma Humana, visando mapear geneticamente os microorganismos encontrados no corpo humano

(<http://www.hmpdacc.org/>), onde já foram identificados mais de 10 mil microrganismos presentes no corpo humano, estabelecendo as interações mais variadas.

Podemos encontrar parasitas vivendo do lado de fora do corpo do hospedeiro – o ectoparasita – que pode ser bem representado pelo piolho ou o carrapato. Esses parasitas não possuem uma especificidade de hospedeiro, podendo se deslocar entre hospedeiros de espécies diferentes. Já o parasita que vive dentro do corpo do seu hospedeiro é chamado de endoparasita e em geral, apresenta uma especificidade maior quanto à espécie de hospedeiro, como é o caso de muitas verminoses. A *Taenia solium* (solitária), por exemplo, só é encontrada parasitando o homem (hospedeiro definitivo) ou o porco (hospedeiro intermediário). Em geral, o ciclo de vida dos endoparasitas é bastante delicado e exige condições específicas para ser completado.

O parasitismo pode ser uma relação obrigatória ou não. Ou seja, alguns parasitas só sobrevivem se estiverem junto ao seu hospedeiro. Aqui novamente retomamos a idéia da dependência estar muito ligada à questão da especificidade dessa relação. Essas relações muito íntimas levaram à seleção de uma série de adaptações nos parasitas, tornando-as altamente especializados em relação à sua fisiologia, morfologia, comportamento, entre outros.



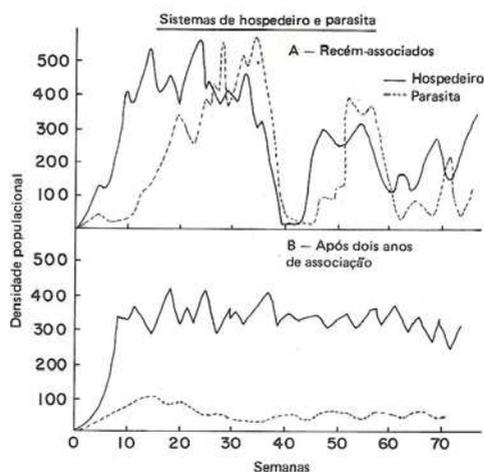
Como a evolução ‘trabalhou’ na seleção das características dos parasitas? Quais as especificidades que podemos encontrar nesses organismos?

- Atrofia de membros, como membros para locomoção

- Desenvolvimento de estrutura de fixação
- Sistema reprodutivo diferenciado, muitas vezes com capacidade de realizar autofecundação – o que não é comum, nem nos organismos hermafroditas
- Capacidade de resistência de ovos e larvas

Os aspectos negativos desta interação tendem a ser mais intensos no início da associação, provocando uma grande oscilação nas populações de parasitos e hospedeiros e podendo até levar ambas as espécies à extinção. No entanto, a tendência é que a seleção diminua os impactos, como demonstrado num experimento com moscas e seu parasito, uma vespa (Fig. 7.9). No início desse experimento, ambas as populações apresentam uma oscilação conjunta, mas a ação dos parasitos é tão intensa que quase extingue seu hospedeiro. Após dois anos de relação, os parasitos tiveram sua população mais controlada (uma taxa de crescimento bastante inferior do que no início da relação), permitindo sua co-existência com o hospedeiro.

Figura 7.9. Sistema parasito hospedeiro entre mosca (*Musca domestica*) e de seu parasito, a vespa (*Nasonia vitropennis*), controlado em laboratório por dois anos.



Fonte: Odum, 1983

2.4. Competição

A competição ocorre quando dois indivíduos/ populações disputam algum recurso limitante, ou seja, que esteja com baixa disponibilidade. É importante ter em mente que o recurso não pode ser abundante, senão não haveria necessidade da disputa. Essa é uma interação em que ambos os envolvidos sofrem uma redução na sua fecundidade, sobrevivência e crescimento.

A competição pode ocorrer interespecificamente, ou seja, entre espécies diferentes, como também intra-especificamente, ou seja, dentro de uma mesma espécie. A competição entre indivíduos de uma mesma espécie está diretamente relacionada com o tamanho populacional. Deste modo, quanto maior for a população, maior será a competição. Nesse contexto, a competição ajudará a regular o tamanho populacional, além de estar sempre selecionando os organismos mais aptos, que deixarão seus genes, aumentando a capacidade competitiva de sua prole. Já a competição interespecífica é um dos fenômenos fundamentais na estruturação das comunidades, pois afeta tanto a distribuição atual das espécies quanto é um dos mecanismos de ação pelo qual o processo de evolução pode ocorrer.

A competição pode ser classificada de duas maneiras: a competição de exploração e a competição por interferência. Quando um organismo utiliza um recurso, tornando-o indisponível, dizemos que ocorre a competição de exploração. Por exemplo, quando um morcego consome um fruto, este fica indisponível para outro animal. Logo, para que haja competição por exploração é importante que os organismos tenham nichos semelhantes. Peixes bagres costumam se alimentar de presas localizadas em folhijo submerso e podem ter

sobreposição em itens de suas dietas. As espécies *Trichomycterus longibarbatu*s e *Pimelodella transitoria* possuem uma similaridade no consumo de mosquitos da família Chironomidae, sendo que para *P. transitoria* a competição será mais intensa, pois seus itens alimentares são constituídos exclusivamente desses mosquitos (Tabela 7.4; EUTRÓPIO e GOMES, 2010).

Tabela 7.4. Características da dieta de duas espécies de bagres que se alimentam em uma mesma região de folhço submerso.

	<i>Trichomycterus longibarbatu</i> s	<i>Pimelodella transitoria</i>
Itens alimentares	Chironomidae + Odonata	Chironomidae
% do item na dieta	Ch – 37,8 Od – 62,2	Ch – 37,8
CT médio ± DP	4,7 ± 0,4	3,2 ± 0,4
Parasitas (%)	0	63,6

Fonte: EUTRÓPIO e GOMES, 2010.

A competição também pode ocorrer de uma maneira direta, com a disputa direta entre os envolvidos, e, neste caso, temos a competição por interferência. Por exemplo, quando dois machos disputam uma fêmea. Esse tipo de competição é menos freqüente, principalmente porque o confronto direto demanda gasto energético e ainda pode comprometer a sobrevivência dos envolvidos. Um exemplo que podemos encontrar em plantas é a alelopatia, uma estratégia adotada por algumas espécies que visa a liberação de substâncias tóxicas no solo que impedirão a germinação de outras espécies, reduzindo assim, a competição que poderia existir entre suas raízes. O potencial alelopático de *Mimosa caesalpiniaefolia* (Leguminosae) foi testado contra sementes de *Tabebuia alba* (Bignoniaceae), que foram colocadas para germinar recebendo 3 concentrações de um composto preparado a partir das folhas da primeira espécie (PIÑA-RODRIGUES e LOPES, 2001). Foi verificado que o composto feito a partir das folhas verdes exerceram uma redução na taxa de

germinação de *Tabebuia alba*, possivelmente pelo efeito alelopático de *M. caesalpiniaefolia* (Tabela 7.5).

Tabela 7.5 Porcentagem de germinação de *Tabebuia alba* submetidas a três concentrações de composto feito das folhas verdes de *Mimosa caesalpiniaefolia*.

TIPO DE FOLHA	DILUIÇÃO	%
FOLHA VERDE	1:8	68
	1:16	43
	1:32	53
TESTEMUNHA	-	70

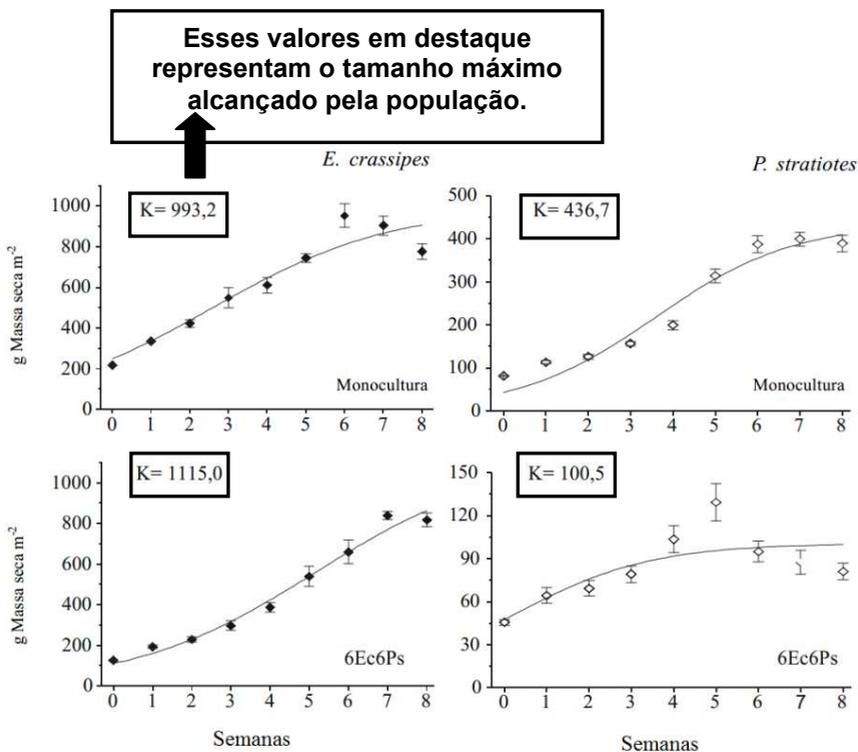
Fonte: Adaptado de PIÑA-RODRIGUES e LOPES, 2001.

Veremos que a competição é uma importante força evolutiva que pode levar a separação/ diferenciação de nichos, especialização e diversificação. Quando pensamos nos custos que a competição envolve, é compreensível entender por que a evolução age de maneira a promover uma separação ecológica dos nichos das espécies envolvidas. A seleção vai atuar de maneira a reduzir os efeitos negativos da interação. Esse processo é denominado Princípio da Exclusão Competitiva ou Princípio de Gause. Isso significa que se a competição for muito intensa, e as espécies tiverem nichos iguais, uma população (a que explora melhor os recursos) pode levar a outra (mais fraca competitivamente) a extinção ou fazer com que ela ocupe outro espaço, ou ainda que utilize outro recurso.

É interessante observar que organismos aparentados e com hábitos muito semelhantes apresentarão alguma diferença importante na exploração do recurso, pois não ocupam o mesmo nicho. Quando eles são simpátricos, ou seja, ocupam o mesmo local, eles podem se diferenciar na exploração dos recursos ou ser ativo em horários diferentes.

O exemplo mais clássico desse princípio foi descrito por Gause, microbiologista russo, observando o crescimento populacional de espécies *Paramecium*. Certamente você já viu o gráfico do crescimento populacional das espécies *P. caudatum* e *P. aurelia* em algum livro de biologia (caso não tenha visto, faça uma pesquisa na internet. Vale a pena!). No entanto, o efeito da competição já foi registrado em outras espécies, como no caso das macrófitas aquáticas flutuantes *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*. Estas espécies possuem exigências similares e quando estão crescendo sozinhas, suas populações alcançam grandes tamanhos. No entanto, quando elas estão em conjunto, *E. crassipes* se mostra uma melhor competidora e acaba levando a redução da população de *Pistia stratiotes* (Fig. 7.10).

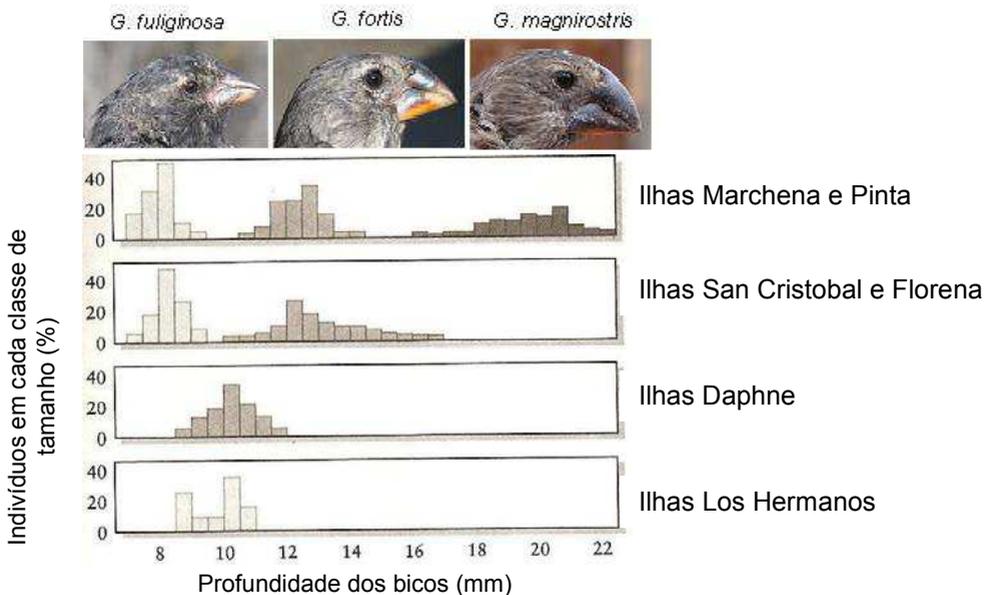
Figura 7.10. Crescimento das macrófitas aquáticas *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes* cultivadas sozinhas (monocultura) e em conjunto (iguais proporções).



Fonte: Adaptado de HENRY-SILVA e CAMARGO, 2005.

Outra consequência da forte competição pode ser uma diferenciação na exploração de recursos, quando há recursos variados na área em questão. Portanto, espécies simpátricas podem diminuir o impacto da competição, consumindo outro recurso disponível. O nome desse fenômeno é deslocamento de caracteres e ele pode ser percebido comparando as características das espécies em regiões onde elas ocorrem juntas com as características que elas possuem nas regiões onde ocorrem separadas. Um exemplo clássico envolve tentilhões (aves) estudados por Darwin, no arquipélago de Galápagos. Três espécies de tentilhões apresentam diferenças nos tamanhos se seus bicos quando estão em simpatria: as classes de tamanho não se sobrepõem. Mas, quando apenas uma espécie ocorre em uma ilha, seu bico possui diferente amplitude de tamanho (Fig. 7.11). Parece claro que a competição é uma importante força da evolução.

Figura 7.11. Tamanho de bicos dos tentilhões (*Geospiza* sp.) de Galápagos, demonstrando o deslocamento de caracteres.



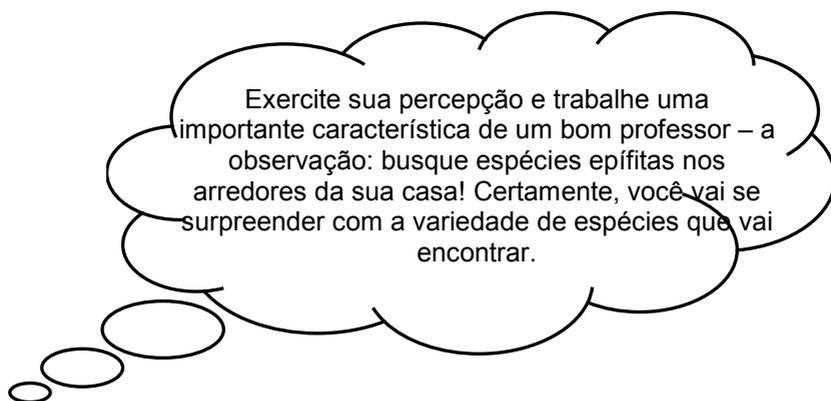
Fonte: Adaptado de RICKLEFS, 2010 e <http://biology.mcgill.ca>

3 Troca de favores

Podemos encontrar na natureza organismos se relacionando de maneira positiva pra ambos ou apenas para um, mas sem prejudicar o outro. Essas relações podem ter evoluído de interações prejudiciais ao longo do tempo, de modo a aumentar a aptidão das espécies.

3.1 Comensalismo

Nessa interação uma espécie é beneficiada, mas a outra não é prejudicada, nem beneficiada. Temos como um exemplo muito comum dessa interação, as plantas epífitas, como as bromélias, que utilizam os troncos das árvores como substrato. As bromélias não causam nenhum prejuízo às árvores, porém estão sendo beneficiadas com um habitat alto, onde há maior disponibilidade de água e luz.



Um exemplo muito interessante de comensalismo foi descrito entre gaivotas e lagartos, nas Ilhas Canárias (SIVERIO e FELIPE, 2009). O gênero de lagartos *Gallotia*, com espécies endêmicas e ameaçadas da região, está sendo reintroduzido na Ilha Hierro. Essa

Ilha oferece pouca oferta de alimentos, sendo principalmente composta por algumas espécies de plantas e insetos. Na região, a gaivota *Larus michahellis* também é muito comum e costuma regurgitar ortópteros mortos (regurgitações tem em média de 10-15 ortópteros bem conservados). Os lagartos encontraram nessas regurgitações uma importante fonte de alimentos (SIVERIO e FELIPE, 2009). Desse modo, o que não é útil para a gaivota e ela descartou, está sendo bem utilizado pelos lagartos, sem causar nenhum benefício ou prejuízo a elas. Esse exemplo demonstra como as espécies tem dependências muitas vezes surpreendentes e, como qualquer alteração no meio pode causar consequências imprevisíveis pelo homem.

Alguns autores acreditam que o comensalismo pode representar o primeiro passo para o desenvolvimento de relações benéficas, sendo um intermediário entre o parasitismo e o mutualismo.

Vale ressaltar que dependendo da intensidade da interação, a espécie não favorecida pode começar a ter problemas. Imagine uma árvore com centenas de bromélias em um determinado galho. Certamente haverá um excesso de peso, que pode provocar a queda do galho.

3.2 Mutualismo

Nessa interação só existem beneficiados! Mas, lembrem-se essa ajuda não é totalmente desinteressada: o gasto de energia para ajudar outros é compensado por algum ganho (seja alimento, abrigo, proteção, entre outros).

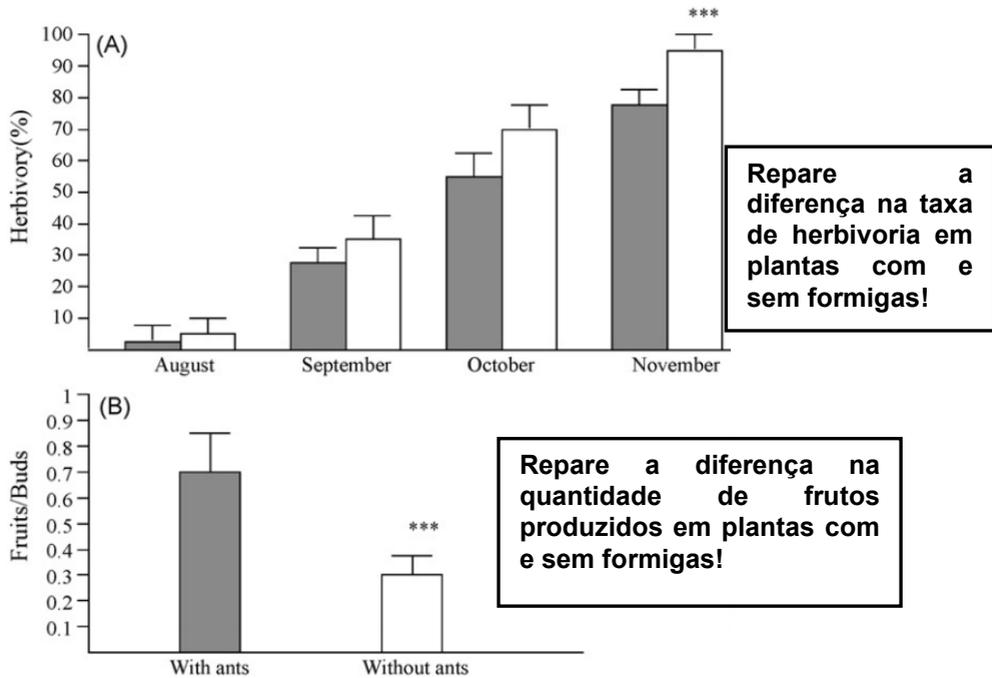
O gasto energético na natureza deve ser muito controlado. Então, ajudar outra espécie só vale a pena se a recompensa for boa. O mutualismo é na verdade uma troca de favores.

Algumas vezes, a relação é tão intensa que as espécies se tornam dependentes umas das outras, demonstrando relações altamente refinadas, como no caso de machos de abelhas que polinizam orquídeas ao se esfregarem na sua flor, para coleta de perfume que será usado na atração da sua fêmea. Outro exemplo dessa relação bem específica é o líquen, que corresponde a uma associação entre alga e fungo, de modo que uma espécie não sobrevive sem a outra. Retomando a idéia discutida no item Parasitismo, a maior parte da biota presente em nosso corpo é formada por microorganismos mutualísticos ou comensais, que favorecem muito o funcionamento dos nossos sistemas (<http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2014/316/a-microbiota-humana/>).

Assim, pode-se classificar o mutualismo de três formas:

1. Mutualismo defensivo – quando uma espécie defende a outra que pode ser sua fonte de abrigo e alimento. Um trabalho que investigou o efeito protetor das formigas na planta *Chamaecrista debilis* (Fabaceae) no Cerrado verificou que as formigas foram capazes de reduzir a herbivoria da planta e favorecer o aumento da produção de frutos em até 50% comparado com as espécies que não apresentavam as formigas (Fig. 7.12; NASCIMENTO e DEL-CLARO, 2010). Logo que um inseto pousa na planta, as formigas o atacam com muita voracidade, protegendo a planta. A planta sem a formiga costuma ser devorada rapidamente, perdendo suas folhas.

Figura 7.12. A) Porcentagem de herbivoria em plantas de *Chamaecrista debilis* com formigas (barras brancas, 10 plantas) e sem formigas (barras cinzas, 10 plantas); B) Proporção de frutos/ botões formados em plantas com e sem formigas.



Fonte: Adaptado de NASCIMENTO e DEL-CLARO, 2010.

2. Mutualismo trófico – envolve parceiros que realizam trocas de nutrientes. Comum em algumas plantas, como feijão, que tem associação com bactérias especializadas na fixação de nitrogênio (Fig. 7.13). A planta recebe o nitrogênio que não é capaz de fixar do ar, enquanto a bactéria recebe carboidratos oriundos da fotossíntese. Outro exemplo é a associação de plantas com fungos, chamada de micorrizo. Em um trabalho que testou o efeito dos fungos *Gigaspora margarita* e *Glomus clarum* e bactérias no crescimento de mudas de mamoeiro, foi observado que os fungos (sozinhos ou conjuntamente) foram mais eficientes em acelerar o crescimento das mudas, mesmo quando a quantidade de nutriente (fósforo) era baixa (Tabela 7.6)

(LIMA *et al.*, 2011). O fungo acelera a absorção de nutrientes, por ser decompositor. Essa relação traz respostas tão positivas no crescimento das plantas, que muitos agricultores investem hoje nesse tipo de associação ao invés de fertilizantes, e garante uma produção livre de produtos químicos. Hoje é possível realizar a compra de fungos micorrízicos até pela internet!

Figura 7.13. Micorriza em feijão. Note como a plântula com associação possui um desenvolvimento maior.



Fonte: <http://hotsites.sct.embrapa.br/diacampo/programacao/2003/micorriza-na-agricultura>.

Tabela 7.6. Altura das mudas (cm) de mamoeiro em função da inoculação de fungo micorrízico arbuscular (FMA) e das doses de fósforo no substrato, com os incrementos relativos (IR%), aos 105 dias após a semeadura.

Doses de P	FMA							Médias
	Sem FMA	<i>G. margarita</i>	IR _F %	<i>G. clarum</i>	IR _F %	Inóculo Misto	IR _F %	
0 mg dm ⁻³	5,4 cB	28,0 aA	419	25,3 bB	369	29,3 aA	443	21,9
25 mg dm ⁻³	9,9 bA	29,5 aA	198	28,1 aA	184	29,5 aA	198	24,3
IR _p %	83%	5%	-	11%	-	1%	-	
Médias	7,7	28,8		26,7		29,4		23,1
CV (%)	↑	↑		↑				10,3

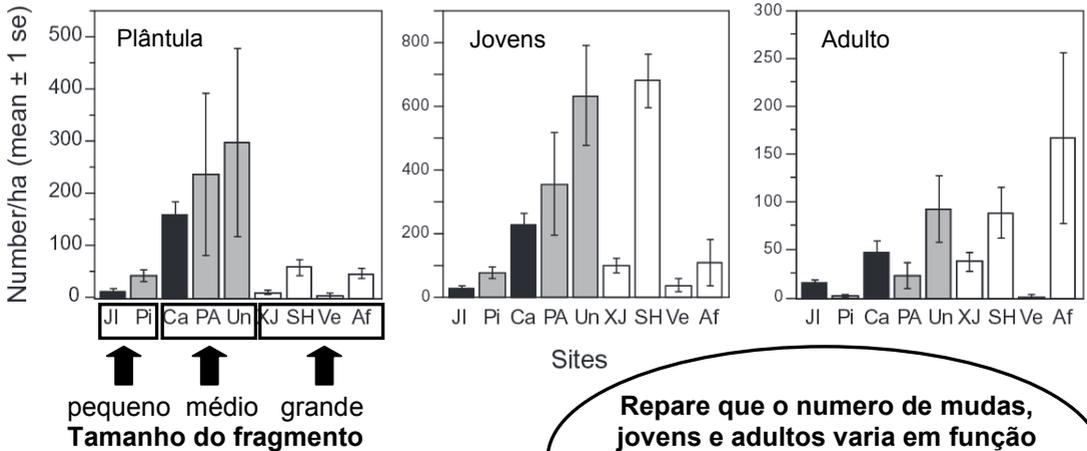
DICA: Observe as médias de crescimento indicadas pelas setas e compare a diferença de tamanho em relação ao mamoeiro sem a presença do fungo.

Fonte: Adaptado de LIMA *et al.*, 2011.

3. Mutualismo dispersivo – observado entre animais que se alimentam ao realizar a dispersão de pólen ou sementes de plantas. Importantíssimo para garantir a manutenção das espécies e está diretamente envolvido no aumento da biodiversidade de áreas. Um trabalho realizado com *Jacaranda copaia* (Bignoniaceae) demonstrou que esta espécie é completamente dependente de polinizador, ou seja, sem a presença do polinizador, não há formação de frutos. Também foi interessante ver que, apesar dela ser visitada por mais de 56 espécies de animais (maioria Hymenoptera, mas também com registro de Diptera, Lepidoptera e Beija-flores), seus polinizadores mais eficientes são abelhas de tamanho médio (*Euglossa* e *Centris*) (MAUÉS *et al.*, 2008).

Já a dispersão é uma interação tão fundamental para manutenção das populações que sem a presença do dispersor na área, a população pode estar realmente ameaçada. Uma investigação avaliou o efeito da presença do dispersor e do tamanho do fragmento na estrutura da população da palmeira *Astrocaryum aculeatissimum* (GALETTI *et al.*, 2006). A investigação foi realizada em fragmentos de diferentes tamanhos e com diferentes níveis de defaunação (perda de animais e entre eles, dispersores). Os resultados mostraram que quanto menor o fragmento e, principalmente, em fragmentos que sofrem com maior defaunação a quantidade de mudas, jovens e adultos dessa palmeira é menor (Fig. 7.14). Esse exemplo mostra claramente a importância que uma espécie tem no meio e se ela tiver uma papel ecológico fundamental, como um dispersor ou polinizador, sua ausência será sentida por diversas outras espécies, podendo impactar inúmeras outras populações.

Figura 7.14. Densidade média de mudas, jovens e adultos da palmeira *Astrocaryum aculeatissimum* em fragmentos de diferentes tamanhos e diferentes níveis de defaunação (preto – locais preservados; cinza – locais com pressão média; branco – locais com severa defaunação).



Repare que o numero de mudas, jovens e adultos varia em função do tamanho e do nível de defaunação dos fragmentos

Fonte: Adaptado de GALETTI *et al.*, 2006.

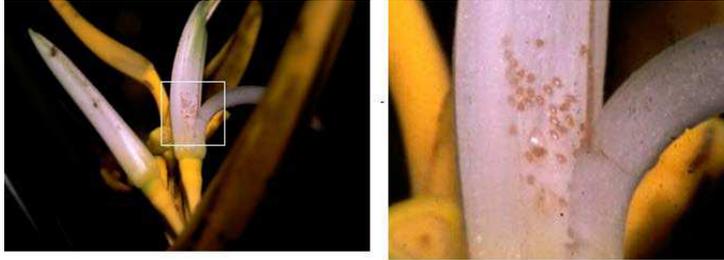
4 Co-evolução

Após ver os tipos de interações encontradas na natureza, percebemos que existe uma ligação mais ou menos estreita entre os envolvidos. No entanto, fica claro que existe um efeito evolutivo mútuo entre as espécies. Essa evolução ao nível de comunidade, em que grupos de diferentes espécies tenham uma interação ecológica próxima e tenham características selecionadas em função desta relação é chamada de co-evolução. São, então, espécies diferentes (não trocam genes entre si), mas que receberam pressões seletivas comuns. Alguns exemplos podem ser observados entre beija-flores e as flores que eles polinizam (muitas vezes altamente específicos) ou entre vermes, como solitária (*Taenia* sp) e seu hospedeiro (homem).

Um excelente exemplo de co-evolução, envolvendo o beija-flor *Phaethornis idaliae*, duas espécies do gênero de herbácea *Heliconia*

(Heliconiaceae) e o ácaro *Tropicoiseus heliconiae* (CRUZ *et al.*, 2007) (Fig. 7.15).

Figura 7.15. Flor de *Heliconia laneana* var. *flava* (Heliconiaceae), com destaque para os ácaros consumidores de néctar.



Fonte: CRUZ *et al.*, 2007.

Vale ressaltar que uma das espécies de *Heliconia* ainda é visitada por borboletas e abelhas que não realizam a polinização, apenas agindo como ladrões de néctar. Nessa relação, os ácaros vivem nas flores das plantas, se alimentando de néctar e pólen e sendo transportado pelo bico dos beija-flores para alcançar outras flores. O beija-flor é o meio de transporte do ácaro. Existe uma especificidade entre o ácaro e a flor, de modo que se um ácaro “desembarca” em uma flor da espécie errada, há uma grande rivalidade com o ácaro da outra espécie, levando a uma briga e até a morte de um deles.

**Quantos tipos de interações você é capaz de identificar nesse sistema?
Tente responder, antes de prosseguir a leitura!**

Então, vamos ver se vocês identificaram todas as relações:

- mutualismo entre o beija-flor e a flor que ele poliniza;

- parasitismo entre o ácaro e as flores, uma vez que ele retira o néctar e reduz sua disponibilidade em até 49% para o beija-flor, podendo reduzir a taxa de polinização;
- parasitismo entre as abelhas e a borboleta que retiram o néctar de maneira ilegítima (pilhagem) da flor, sem realizar sua polinização;
- comensalismo entre o ácaro e beija-flor, pois durante o transporte o beija-flor não é afetado, mas o ácaro consegue garantir sua dispersão até outras flores.

Aplicando seu Conhecimento

1 – Pesquise trabalhos que demonstrem como as interações influenciam na estrutura da comunidade. Todas tem um papel muito importante nesse processo.



Interações é um tema fantástico para ser trabalho com os alunos, porque ele permite que sejam desenvolvidos pequenos projetos, aplicando a metodologia científica. Além disso, os alunos tem a possibilidade de realizar atividades praticas, o que contribui pra o seu aprendizado. Pesquise pequenos projetos com a temática interações ecológica para desenvolver com seus alunos na própria área da escola.

CAPÍTULO 8

SUCESSÃO ECOLÓGICA

1 Interações, modificações, comunidades

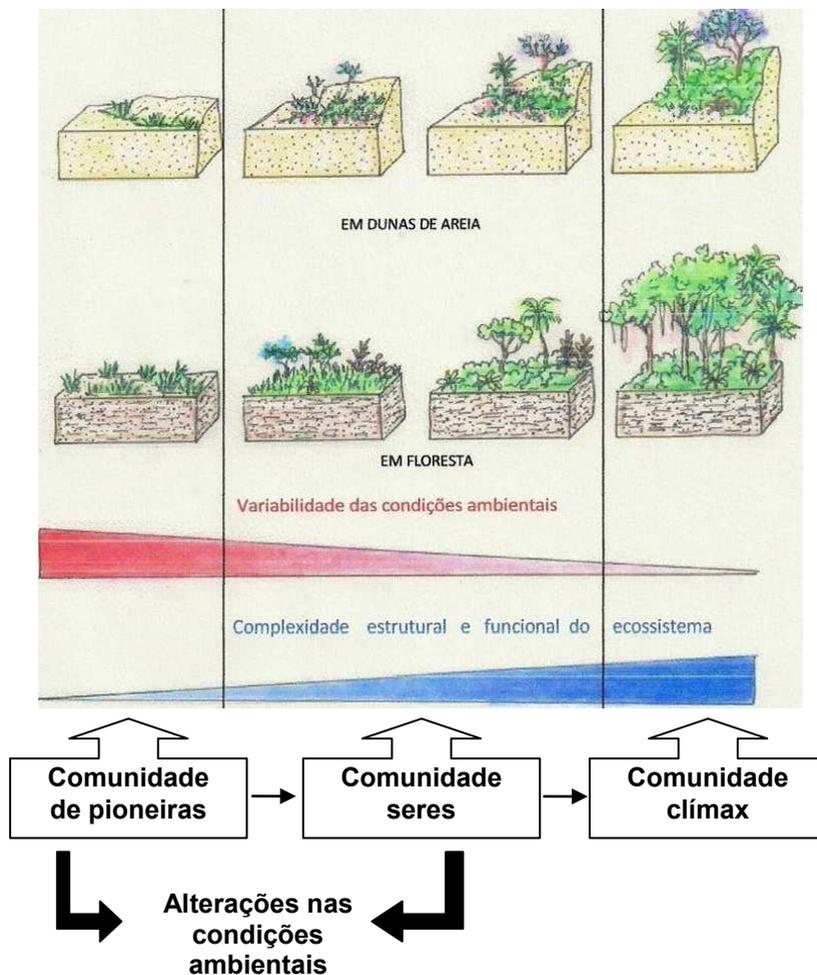
Os organismos sempre realizam algum tipo de interação entre eles ou entre eles e o meio (vimos vários exemplos no capítulo anterior). Todas essas relações propiciarão constantes processos de alterações. As comunidades mudam ao longo do tempo, seja por substituição de espécies, seja por alterações físico-químicas no ambiente. Essas alterações caracterizam o grau de interação e de equilíbrio de um ecossistema e podem indicar seus processos de evolução. Não é fácil determinar com certeza os limites em que essas interações começam ou terminam, entretanto elas são fundamentais para determinar a estrutura da comunidade e as dinâmicas populacionais.

A dinâmica na variação de espécies, das interações e o comportamento dos nutrientes e da energia no sistema é chamado de sucessão ecológica. Entender a sucessão ecológica é entender as alterações que os ecossistemas sofrem, seja na composição de suas espécies, seja na ciclagem de nutrientes ou no fluxo de energia. A sucessão pode ser classificada como primária, quando ocorre em um ambiente que nunca antes foi ocupado, como dunas de areia, ou de secundária, quando ela ocorre em uma área previamente ocupada e que passou por um processo de devastação, como um pasto abandonado.

Na sucessão, ocorre uma substituição natural das espécies que ocupam a área, e cada espécie contribui para a modificação do ambiente como um todo. Esse processo pode ser observado tanto no

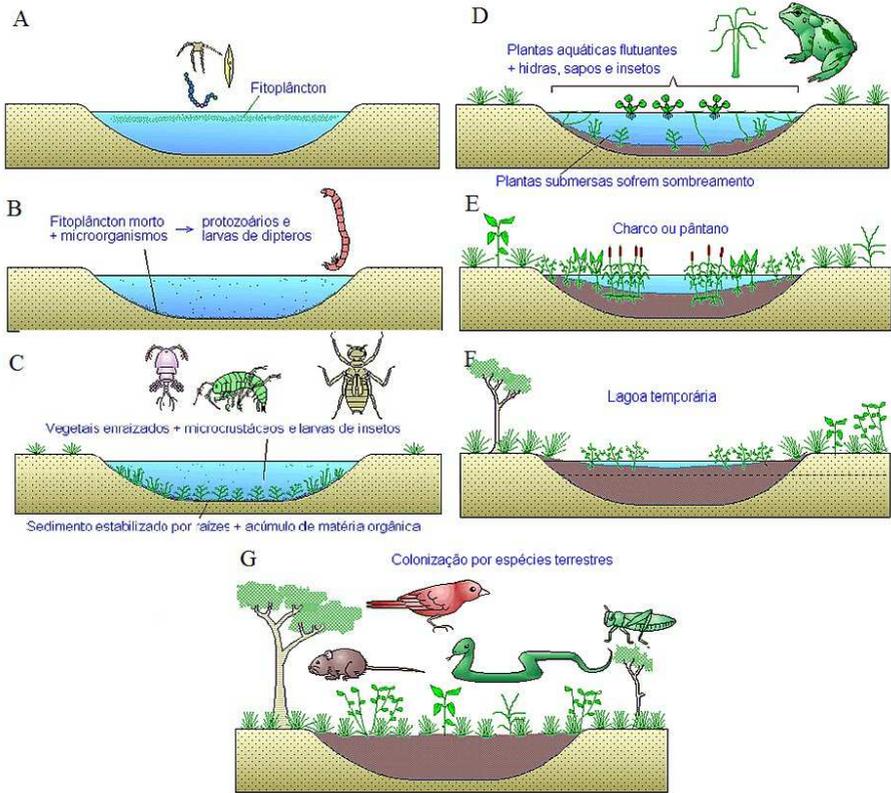
ambiente terrestre (Fig. 8.1) quanto no ambiente aquático (Fig. 8.2). Ou seja, as espécies promovem alterações que permitirão o estabelecimento de outras espécies, mas um fator fundamental nesse processo é a disponibilidade dos recursos e as condições do ambiente. As características físico-químicas vão controlar a velocidade dessas alterações, pois os organismos devem ter suas exigências atendidas para se estabelecerem e reproduzirem.

Figura 8.1. Sucessão em ambiente terrestre.



Fonte: Adaptado de http://www.ib.usp.br/ecologia/versao_html.htm

Figura 8.1. Sucessão em ambiente aquático.



Fonte: Adaptado de http://www.ib.usp.br/ecologia/versao_html.htm

Cada grupo de espécies que ocupa o meio tem características semelhantes, selecionadas em função das condições do ambiente naquele momento. A primeira comunidade a se estabelecer é chamada de pioneira. Cada etapa seguinte é chamada de sere e é caracterizada pelas comunidades secundárias iniciais, seguida da comunidade tardia. Ao final do processo, alcança-se um estágio de equilíbrio, chamado de clímax. A comunidade clímax é a mais estável, a mais madura, representando um ecossistema que se mantém ao longo do tempo. Observe essas etapas e a representação das mudanças de fisionomias em ambientes aquáticos e terrestres nas figuras 8.1 e 8.2, respectivamente.

Estamos tratando da idéia de sucessão abordando prioritariamente a comunidade vegetal, uma vez que são os primeiros organismos a chegarem no ambiente e provocar sua modificação. No entanto, a sucessão envolve também a substituição de espécies animais e decompositores, uma vez que todos serão essenciais para a alteração e melhoria das qualidades do meio.

2 Comunidade Pioneira

Um ambiente sem ocupação, seja por devastação ou por ser um ambiente novo, como uma ilha formada por lava de vulcão, apresenta condições bastante inóspitas a grande parte dos organismos. O primeiro grupo de espécies com características para se estabelecer num ambiente como este forma a comunidade pioneira.

As espécies pioneiras possuem adaptações como polinização e dispersão pelo vento (eólica), alta capacidade de dispersão, alta produção de sementes, resistência à alta luminosidade e exposição ao vento, baixa exigência nutricional e rápida capacidade de crescimento (alta taxa fotossintética). Com o crescimento destas espécies, rapidamente a região muda de fisionomia, deixando de ser uma área totalmente aberta e exposta e passando a ser uma área ocupada. Conseqüentemente, a partir das interações entre as espécies pioneiras e o meio, há uma modificação das características físico-químicas, como o aumento do sombreamento do solo, maior produção de matéria orgânica, modificação na umidade do solo, diminuição da área exposta ao vento, entre outras. Essas modificações passam a dificultar a permanência das pioneiras e

favorece o estabelecimento de outro grupo de espécies, as secundárias.

3 Estabelecimento das seres

A substituição de uma espécie por outra requer a modificação das características do meio, que o tornará inapropriado a primeira espécie, mas propício à segunda que ocupará seu lugar. É interessante perceber que a própria comunidade, ao interagir com o meio, promove sua modificação, tornando-o inapropriado à sua permanência e favorecendo a ocupação por outra espécie. Deste modo, três processos governam os caminhos e a velocidade de uma sucessão: facilitação, inibição e tolerância. Para uma revisão do assunto vale ver MIRANDA, 2009.

a. **Facilitação** – cada sere promove as alterações necessárias no meio para o estabelecimento da sere seguinte. Por exemplo, comunidades pioneiras, geralmente, possuem associação com bactérias fixadoras de nitrogênio, enriquecendo o solo com nutrientes. Esse processo é fundamental na sucessão primária, quando o solo costuma ser muito pobre em nutrientes e mais compacto (MIRANDA, 2009).

b. **Inibição** – garante a seleção e a ordenação das espécies que se estabelecem no meio. Muitas espécies liberam substâncias alelopáticas, que impedem o estabelecimento de outras espécies ou são fortes competidoras, excluindo as fracas. Espécies clímax possuem estas características e impedem o estabelecimento das espécies pioneiras.

c. **Tolerância** – essa característica está relacionada com a capacidade das espécies invadirem e se manterem no meio,

independente das suas interações. É a característica intrínseca do organismo de se reproduzir, dispersar, conseguir nutrientes, resistir a doenças, entre outras. Espécies pioneiras tendem a ser pouco tolerantes, enquanto espécies clímax são bastante tolerantes.

4 Comunidades Secundárias

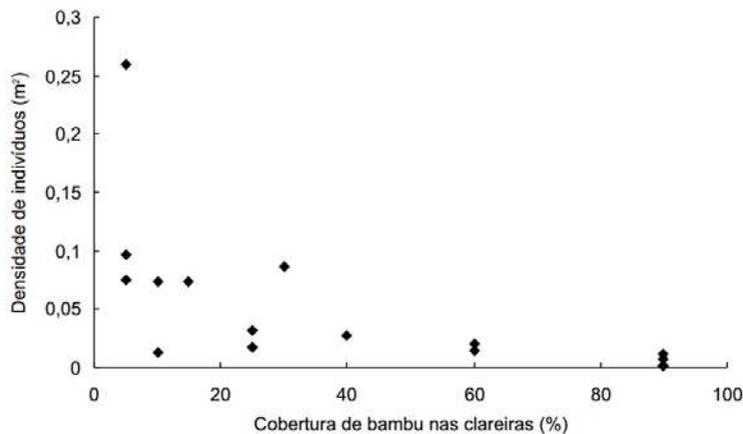
As comunidades secundárias podem ser divididas entre as iniciais e as tardias. As iniciais são aquelas que substituem as pioneiras diretamente, tendo necessidade de pouco sombreamento e sendo menos exigentes quanto aos nutrientes do solo, uma vez que ainda há pouca serrapilheira no sistema.

As secundárias tardias são mais exigentes, desenvolvendo-se em um sub-bosque mais sombreado, sendo representada por pequenas árvores ou até árvores que alcancem o dossel. Muitas espécies secundárias tardias têm como característica mais importante a deciduidade, que ocorre inclusive em áreas de alta pluviosidade.

As espécies pioneiras e secundárias iniciais são encontradas em áreas com condições climáticas e edáficas bastante amplas, sendo espécies pouco exigentes, o que lhes propicia uma extensa distribuição geográfica. Em florestas densas, elas só conseguem se desenvolver quando há a formação de grandes clareiras. Quando uma clareira se abre na mata, o processo de ocupação até o seu fechamento é também um processo de sucessão, apresentando todas as etapas discutidas aqui. Um trabalho demonstrou que espécies pioneiras de 3 gêneros (*Miconia*, *Leandra* e *Rapanea*) correspondem a 49% das espécies e mais de 62% dos indivíduos encontrados em clareiras da floresta montana do Parque Estadual da

Serra do Mar, em São Paulo (TABARELLI e MANTOVANI, 1999a). Esse trabalho demonstrou que a diversidade de pioneiras é baixa e que, dentre outros fatores ecológicos, a presença de bambus, que causam muitas sombras, pode estar comprometendo a ocorrência dessas espécies (Fig. 8.3). Isso ressalta uma das características mais essenciais das pioneiras e secundarias iniciais: são plantas que necessitam de luz para germinar e se manter.

Figura 8.3. Relação da densidade de pioneiras e o sombreamento causado por bambus no Parque Estadual da Serra do Mar, SP.



Fonte: Adaptado de TABARELLI e MANTOVANI, 1999a.

5 Comunidade Clímax

É a comunidade com características mais estáveis, caracterizando o equilíbrio da comunidade. As espécies possuem as seguintes características: crescimento lento, tolerantes à sombra, amadurecimento tardio do sistema reprodutivo, mas um alto investimento na reprodução (poucos descendentes, mas com grande chance de sobrevivência), polinização por animais e superioridade competitiva. A comunidade clímax pode apresentar uma mistura de fisionomias, dependendo das características edáficas e do ambiente.

Uma característica importante da comunidade clímax é que há um equilíbrio entre a produção fotossintética e a respiração, o que significa que o oxigênio que é produzido pela fotossíntese e é consumido pela respiração.

Faça um paralelo entre as características das comunidades pioneira e clímax com os conceitos de espécies r- e k-estrategistas (capítulo 6).

A comunidade clímax é difícil de ser identificada, pois uma comunidade pode apresentar variações na sua fisionomia. Nesse sentido podemos reconhecer um único clímax regional, onde a comunidade está em equilíbrio com o clima, ou um clímax edáfico, onde a comunidade está em equilíbrio com as características do solo. Deste modo, uma grande região, com diferentes tipos de solos pode apresentar diferentes clímaxes edáficos, apresentando diferentes fisionomias.

6 Mudanças estruturais e funcionais

É possível perceber que uma série de mudanças ocorre no ecossistema e na estrutura das comunidades ao longo do processo de sucessão. As principais mudanças podem estar relacionadas com o tempo de permanência de cada sere, a produtividade, a ciclagem de nutrientes e a composição das espécies e suas interações, uma vez que alterando as espécies, mudam-se as interações que já estavam estabelecidas.

6.1 Permanência das seres

A comunidade pioneira é a que permanece um menor tempo. Estas espécies rapidamente alcançam seu amadurecimento reprodutivo, aumento sua densidade no meio e alterando suas características. Com essas modificações, outras espécies são favorecidas e as pioneiras acabam sendo excluídas (Tabela 8.1).

Entre as comunidades secundárias, a inicial tende a permanecer por um tempo menor do que a tardia (Tabela 8.1). Essa diferença ocorre devido às exigências diferenciadas e o tempo requerido para crescimento e reprodução das espécies que compõem as duas comunidades.

Já a comunidade clímax permanece por um longo tempo, tendo alcançado um equilíbrio estável e tendo suas necessidades energéticas e nutricionais atendidas. Aqui vale dar uma atenção para os locais que sofrem mudanças periódicas no solo ou no clima, e novos processo de sucessão são iniciados. Um bom exemplo é uma poça que se desenvolve apenas em um determinado período mais chuvoso, mas que se renova sazonalmente.

Tabela 8.1. Número de indivíduos por grupo ecológico em área em processo de sucessão de 1984 a 1998 em Viçosa, MG.

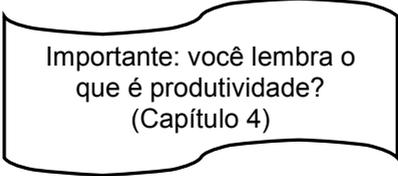
Grupos ecológicos	Número de indivíduos vivos			
	1984		1998	
Pioneiras	197	11,6%	162	8,9%
Secundárias iniciais	1.331	78,4%	1.479	81,0%
Secundárias tardias	163	9,6%	185	10,1%
Indeterminadas	7	0,4%	-	-
Total	1.698	100%	1.826	100%

Repare como as abundâncias de pioneiras e secundárias mudam ao longo do tempo.

Fonte: Adaptado de PAULA *et al.*, 2004.

6.2 Produtividade e respiração

Uma das formas de se avaliar a velocidade de crescimento de uma comunidade é através da relação entre respiração e produtividade.



Importante: você lembra o que é produtividade?
(Capítulo 4)

Vimos que a produtividade é a taxa de fotossíntese de uma determinada área, e que ela pode ser classificada em bruta (taxa total produzida) ou taxa líquida (total produzido menos a energia gasta com a manutenção, principalmente e respiração).

Uma comunidade pioneira tem a capacidade de crescer rapidamente, isso porque a sua produção fotossintética é maior do que ela consome na respiração.

PRODUTIVIDADE > RESPIRAÇÃO

Ou seja, a produtividade bruta (P) supera a taxa da respiração (R). Então, dizemos que a relação P/R é maior que 1. Desse modo, há energia sobrando para ser aplicada em biomassa e a comunidade crescer.

Conforme vai ocorrendo a sucessão das espécies e a mudança das comunidades, as espécies terão um crescimento mais lento e maior necessidade de energia na sua manutenção, a tal ponto que a comunidade clímax tem alto consumo, equivalente a sua produção.

PRODUTIVIDADE = RESPIRAÇÃO

Isso significa $P = R$, ou seja, toda energia produzida é utilizada pela respiração para manutenção da comunidade. Por isso, que muitas comunidades clímax são considerados sistemas de auto-manutenção.

Uma idéia que ainda se vê/ escuta muito é que a Amazônia e o pulmão do mundo (Fig. 8.4). Baseado na discussão sobre a relação da fotossíntese e da respiração ao longo da sucessão, o que você pode comentar sobre isso?

Figura 8.4. Capa de um cd de uma banda do norte e projeto proposto por um blog para trabalhar a questão ambiental na escola.



Fontes: <http://www.boidesonhos.org.br/discos/disco8.htm> e http://projetoslinguagemefins.blogspot.com.br/2011_09_01_archive.html

Na verdade, a Amazônia não pode ser considerada o pulmão do mundo porque, por ser, majoritariamente, uma comunidade clímax, a grande quantidade de oxigênio que ela produz ela consome na sua respiração. O verdadeiro pulmão do mundo são as algas, que são capazes de produzir uma grande quantidade de oxigênio em relação ao que elas consomem.

6.3 Ciclagem de nutrientes

Em geral, com a complexidade da comunidade, há um maior acúmulo de nutrientes na biomassa dos organismos e uma maior comunidade de organismos decompositores, que rapidamente devolvem os nutrientes da matéria morta para o ambiente. Nesse sentido, os nutrientes teriam seus ciclos ocorrendo mais rapidamente. Um trabalho interessante demonstrou esse efeito através da investigação da respiração microbiana em ecossistemas florestais em diferentes níveis de desenvolvimento no Paraná (PEÑA *et al.*, 2005). Se há um aumento da respiração microbiana, significa que há uma maior comunidade de consumidores. Nesse estudo, foi verificado que ocorre uma redução nos nutrientes disponíveis no solo (Tabela 8.2) e o aumento da atividade respiratória de bactérias (medido através da liberação de CO₂) (Fig. 8.5), conforme o ecossistema está mais desenvolvido.

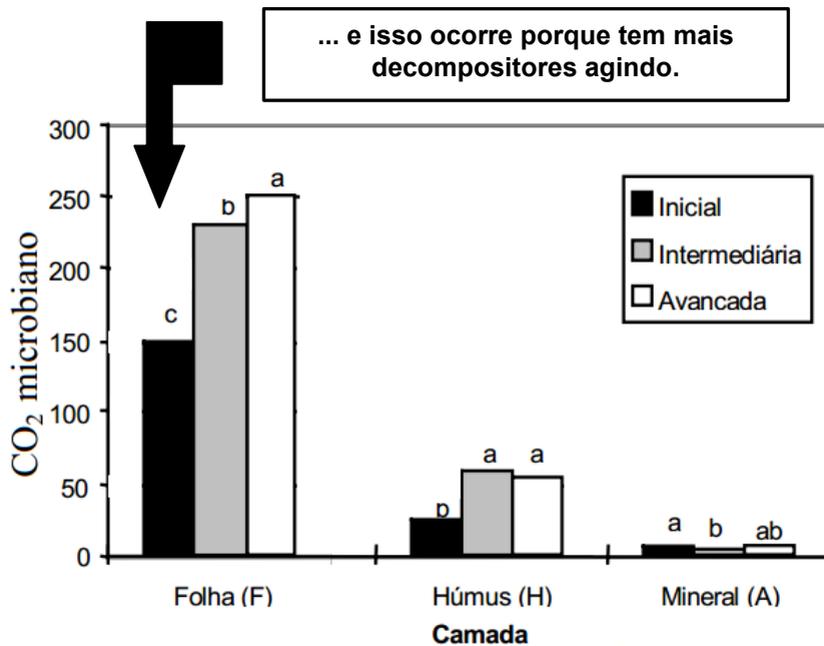
Tabela 8.2. Características físicas e químicas do solo em três florestas em estágios de sucessão diferentes.

Fase sucessional	Prof. (cm)	Areia (g.100g ⁻¹)	Argila	pH	Ca + Mg cmolc.dm ⁻³	K	P mg.dm ⁻³	C g.dm ⁻³	N g.kg ⁻¹	C/N
Inicial	0,0-2,5	74	4	3,8	5,7	0,17	11,6	65,9	1,9	35
	2,5-5,0	88	4	3,4	2,8	0,13	9,6	51,2	1,4	37
	5,0-8,0	90	4	3,3	1,6	0,09	7,4	40,9	1,2	35
Intermediária	0,0-2,5	76	6	2,9	1,0	0,15	7,8	71,1	2,4	30
	2,5-5,0	88	4	3,1	0,8	0,08	4,4	34,1	1,2	28
	5,0-8,0	88	2	3,2	0,7	0,06	3,2	24,6	0,8	33
Avançada	0,0-2,5	78	4	3,1	2,2	0,21	8,8	69,7	2,5	28
	2,5-5,0	70	4	3,1	1,2	0,12	4,8	39,6	1,6	25
	5,0-8,0	86	2	3,1	0,9	0,08	3,2	29,1	1,1	26

Fonte: Peña *et al.* 2005.



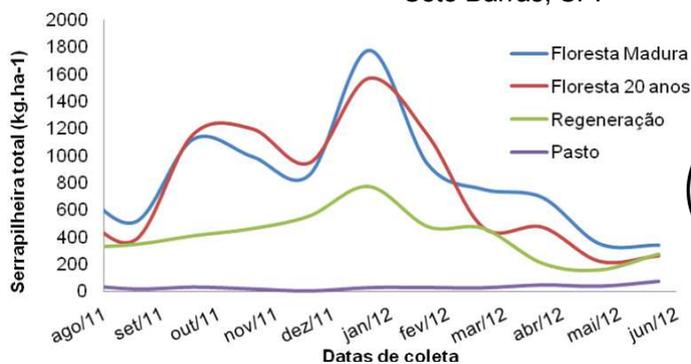
Repare como ocorre a redução da disponibilidade dos nutrientes conforme aumenta o desenvolvimento da comunidade...



Fonte: Peña *et al.* 2005.

Podemos perceber que isso ocorre porque se a comunidade está mais desenvolvida, então há maior disponibilidade de serrapilheira e, conseqüentemente, maior disponibilidade de matéria orgânica para ser reciclada. Um trabalho que avaliou a deposição da serrapilheira em 4 formações vegetacionais com diferentes níveis de sucessão mostrou que há um aumento na produção da serrapilheira conforme aumenta o status sucessional (Fig. 8.6).

Figura 8.6. Serrapilheira mensal acumulada em 4 formações vegetacionais em Sete Barras, SP.



Quanto mais desenvolvida, maior a produção de serrapilheira, mesmo havendo uma variação sazonal.

Fonte: Adaptado de KÜHL *et al.*, 2012.

6.4 Substituição de espécies

Pouquíssimas espécies estão aptas a fazer parte da comunidade pioneira, devido às dificuldades impostas pelo meio. No entanto, com a rápida substituição no número de espécies, as comunidades secundárias podem ser formadas por muitas espécies capazes de ocupar os diferentes nichos que estão sendo formados.

Quando se alcança um período de transição entre a comunidade secundária tardia e a comunidade clímax, poucas espécies permanecem, sendo registradas apenas aquelas que são competitivamente superiores. Logo, existe a tendência de haver baixa riqueza na comunidade pioneira, com aumento nos estágios secundários e uma nova queda na comunidade clímax. Em áreas de floresta que passaram por queimadas em São Paulo, foi verificado que quanto mais tempo a área tem para se recuperar, maior a diversidade observada (Tabela 8.3), porém, com uma queda na riqueza e prevalência de uma guilda arbustivo-arbóreas (Tabela 8.4). Além disso, percebe-se que as interações ecológicas se tornam mais especializadas (TABARELLI e MONTOVANI, 1999b): quanto maior o tempo de recuperação, mais interações ecológicas são estabelecidas, prevalecendo as espécies zoocóricas, que costumam ter maior sucesso reprodutivo (Tabela 8.4).

Tabela 8.3. Riqueza (S) e Diversidade de Shannon-Wiener (H') em 4 trechos de floresta Atlântica Montana em São Paulo.

Florestas	S	H' (bits/ind.)
10 anos	4	1,161
18 anos	56	3,069
40 anos	90	5,274
Madura	84	5,252

Riqueza = número de espécies
Diversidade = relação entre
riqueza e abundância

Mais detalhes no Capítulo 9

Fonte: Adaptado de TABARELLI e MONTOVANI, 1999b.

Tabela 8.4. Percentual de espécies em diferentes guildas de *estratificação*: sub-bosque (SB), dossel (DS); *dispersão*: anemo/ autocórica (A/A), zoocórica (ZO); e *regeneração*: tolerantes à sombra (TS) e intolerantes à sombra (IS), em 4 trechos de floresta Atlântica Montana em São Paulo.

Florestas	SB	DS	A/A	ZO	TS	IS
10 anos	25,0	75,0	75,0	25,0	25,0	75,0
18 anos	41,0	58,9	21,4	78,5	55,3	44,6
40 anos	43,3	56,6	12,2	87,7	73,3	26,6
Madura	55,2	44,7	1,2	98,8	90,4	9,5

Fonte: Adaptado de TABARELLI e MONTOVANI, 1999b.

Podemos reconhecer nesse processo substitutivo algumas espécies características, chamadas de florística de revezamento, que vem acompanhada de uma faunística de revezamento, uma vez que os animais vêm acompanhando a disponibilidade de novos recursos vegetais.

Aplicando seu conhecimento

Qual a relação entre o processo de sucessão de espécies e os processos de recuperação de áreas degradadas? Pesquise técnicas que acelerem o processo de recuperação de áreas.



Uma maneira de estimular o interesse dos alunos para os assuntos ambientais é contextualizar e exemplificar o conteúdo. Com o tema Sucessão, você pode fazer uma aula de campo, identificando com os alunos os critérios que permitem determinar o grau de desenvolvimento de uma floresta, como a altura das árvores, sua distribuição, seu diâmetro, a serrapilheria. Assim, vocês podem inferir o grau de preservação dos fragmentos do seu entorno.

CAPÍTULO 9

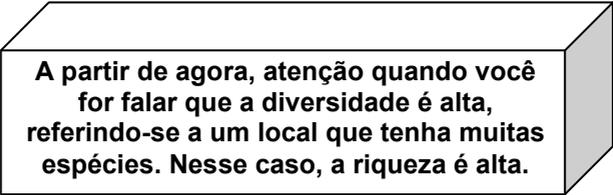
BIODIVERSIDADE

1 O que é biodiversidade?

Apesar de biodiversidade ser uma palavra muito frequente nos dias atuais, muita gente não sabe qual é a real definição de biodiversidade. Segundo a Convenção sobre Diversidade Brasileira, no seu art. 2º biodiversidade significa: "a variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo, dentre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos de que fazem parte; compreendendo ainda a diversidade de espécies, entre espécies e de ecossistemas". Podemos perceber, então, que a biodiversidade é formada por um conjunto de fatores, e não apenas pela variedade de espécies encontradas em um lugar. Ela inclui diferentes níveis de organização entre eles, espécies, ecossistemas e genético.

1.1 Diversidade de espécies

Em geral, ouvimos o termo diversidade sendo aplicado para se referenciar ao número de espécies de uma região. Em termos ecológicos, o número de espécies é denominado riqueza, enquanto a diversidade será a relação entre a riqueza e a abundância (o número de indivíduos de cada espécie) das espécies. Voltaremos a essa questão mais a frente.



A partir de agora, atenção quando você for falar que a diversidade é alta, referindo-se a um local que tenha muitas espécies. Nesse caso, a riqueza é alta.

De qualquer maneira, referir-se a diversidade como o número de espécies encontradas em um determinado lugar pode parecer simples, mas pense numa região como um brejo, com muitos nichos diferentes e com espécies de biologia variada, além das raras. Na verdade, de um modo geral, é muito difícil conseguir estimar todas as espécies de uma área. O sucesso muitas vezes está na clara identificação das espécies e num grande esforço de amostragem.

1.2 Diversidade de ecossistemas

Esse tipo de diversidade engloba as espécies que podem ser encontradas em uma região, suas relações entre si e o meio, além do funcionamento do próprio ecossistema. A variedade de padrões e de funcionamento garante as diferentes fisionomias e a manutenção das espécies.

Estudamos nos capítulos 4 e 5 que o ecossistema é totalmente dependente da energia e dos nutrientes disponíveis e os processos que influenciam esse funcionamento. Considerando esse conhecimento, é possível perceber porque falar em diversidade de ecossistemas é tão importante.

1.3 Diversidade genética

Mesmo dentro de uma mesma população, podemos encontrar uma variação nas características dos indivíduos. Há diferença no tamanho de estruturas, na cor da pelagem, na disposição de folhas,

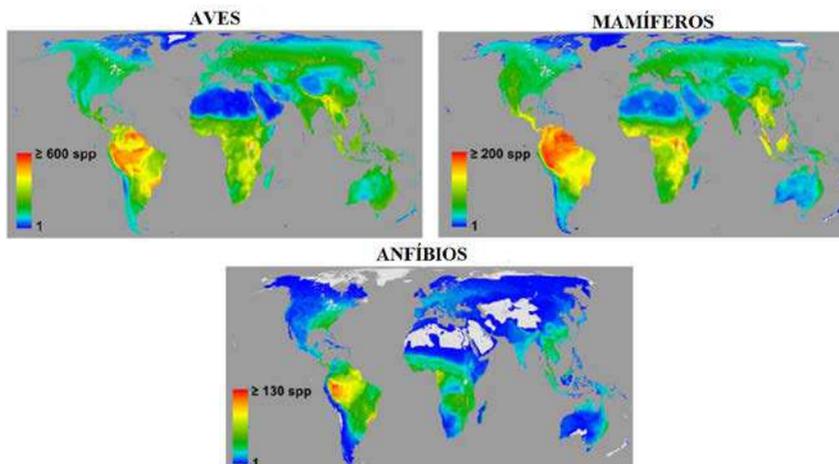
dentre uma infinita gama de outros caracteres. Essas diferenças são concedidas pela variabilidade genética que os organismos possuem e é fundamental para garantir a permanência das espécies em caso de condições adversas.

Com relação a essa temática, também já discutimos nos capítulos 1 e 6 a importância da variabilidade genética para a permanência da população. Aqui vale lembrar que essa variabilidade é obtida através da reprodução sexuada.

2 Padrões gerais de biodiversidade

Muitos trabalhos já demonstraram que existe uma tendência da diversidade diminuir conforme aumenta a distância do equador. Desse modo, as regiões tropicais possuem uma alta diversidade (tanto de espécies quanto de ecossistemas), regiões temperadas apresentam uma diversidade menor que as tropicais e as regiões polares possuem uma diversidade baixíssima. Esse padrão já foi demonstrado para vários grupos taxonômicos (Fig. 9.1).

Figura 9.1. Mapa global de riqueza de espécies de três táxons.



Fonte: Adaptado de JENKINS *et al.*, 2013.

Ao longo da história da ecologia, essa questão intrigou e ainda intriga muitos pesquisadores, que buscam dar explicações para esse padrão. Muito da motivação dessa investigação veio do interesse em se conhecer como aconteceu o processo de diversificação das espécies. No entanto, com a expansão da população humana, hoje conhecer sobre todos os aspectos que explicam a diversidade, se torna mais importante do que nunca, uma vez que precisamos conhecer a distribuição de muitas espécies para tentar diminuir os impactos negativos e as extinções que acontecem em velocidade acelerada.

Diante disso, veremos um resumo de algumas teorias que tentam explicar essa variação e alguns estudos de caso, que ajudam a elucidar a questão.

1. A maior diversidade nos trópicos é garantida pela maior produtividade nas regiões tropicais devido à alta incidência de luz.

Aqui é um bom momento para você recordar os fatores que influenciam a produtividade nos ambientes terrestres e aquáticos (capítulo 4).

2. Pelas características climáticas, as variações observadas na região tropical são menos intensas (pouca sazonalidade).

Agora recorde sobre os padrões climáticos mundiais e a sua importância para a ocorrência dos biomas (capítulo 2).

3. Os trópicos tiveram mais tempo para serem colonizados em relação ao período de formação das regiões das latitudes mais altas (movimento de placas tectônicas). Logo, houve mais tempo de ocorrer especiação nessa região, resultando em um maior número de espécies.

4. Maior heterogeneidade espacial, ou seja, há mais nichos disponíveis em regiões tropicais, permitindo a especiação. Nesse caso, pode-se considerar a variação ambiental e também o grande número de espécies vegetais, que permite a existência de muitos herbívoros e conseqüentemente carnívoros.

Retomando a temática dos biomas, relembre e compare as principais características dos biomas de regiões tropicais, temperadas e mais próximas dos pólos (capítulo 3).

5. Maior número de interações entre as espécies, com especial destaque para a competição, uma vez que espécies diferentes não podem consumir um mesmo recurso escasso. Portanto, diferenciar seu nicho de exploração, tornando-o geralmente mais estreito e permitindo a coexistência de um maior número de espécies.

Lembre dos assuntos discutidos sobre interações ecológicas e a tendência da seleção de características que reduzam os impactos negativos (capítulo 6).

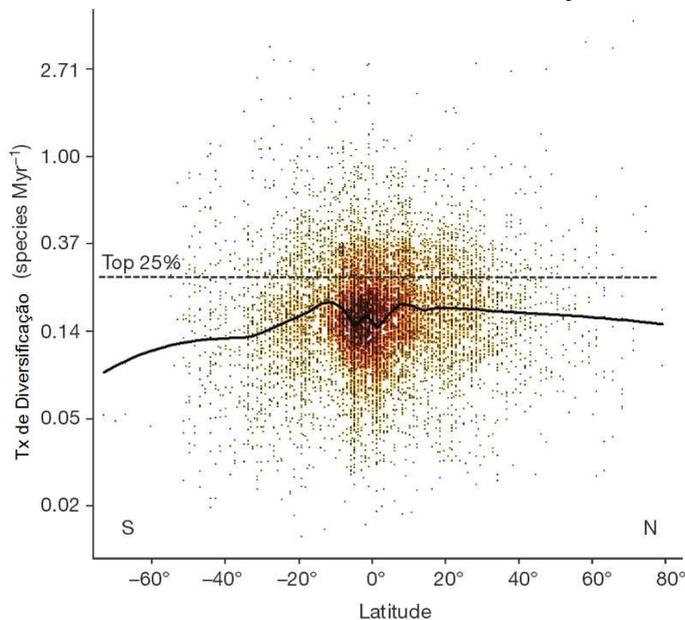
6. Outra interação importante é a predação, pois predadores ajudam a controlar a população de suas presas, permitindo que várias presas ocupem uma mesma região e não que apenas uma espécie domine a área, por ser boa competidora e capaz de excluir as outras.

Na verdade, os trabalhos e pesquisas tem demonstrado que não é uma ou outra teoria que explica completamente bem a variação no padrão mundial de diversidade. Mas, em geral, os autores usam de explicações múltiplas. Se formos pensar mais

detalhadamente, uma questão tão complexa quanto diversificação, deve ter múltiplas influencias.

Um trabalho avaliando a diversificação de 9.993 espécies de aves no tempo (como ocorreu a diversificação histórica do grupo) e no espaço (relativo à distribuição geográfica do grupo) mostrou que há uma concentração de espécies próximas da zona tropical, mas considerar a latitude de maneira sozinha não explica o padrão observado. A distribuição parece ser uma combinação da idade e da expansão de florestas tropicais úmidas (Fig. 9.2; JETZ *et al.*, 2012). Há uma maior diferença na taxa de diversificação entre hemisférios do que entre latitudes, quando analisados de maneira isolada. Os dados relativos à área só são significativos em uma faixa equatorial estreita e, ainda, dependendo do hemisfério, da prevalência e da dinâmica evolutiva de cada grupo taxonômico.

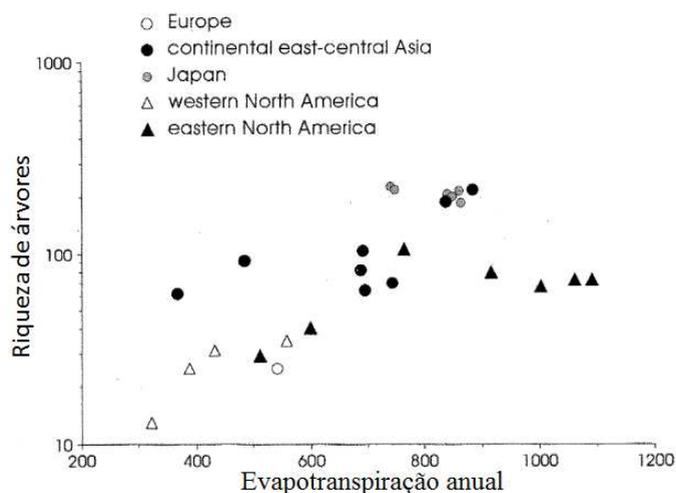
Figura 9.2 Gradiente latitudinal da taxa de diversificação de linhagens de aves.



Fonte: adaptado de JETZ *et al.*, 2012

A evapotranspiração já foi um fator associado a padrões de diversidade. Como a evapotranspiração é a liberação constante de água pela folha, ela acaba sendo mais intensa em locais com maior incidência solar e é uma medida indireta da produtividade (ver Capítulo 2). Inicialmente, também podemos encontrar um padrão que levante a relação da evapotranspiração variando com a latitude. No entanto, para plantas, outros fatores parecem influenciar nesse processo (LATHAM e RICKLEFS, 1993). Um trabalho avaliando a riqueza de árvores em diferentes regiões do planeta também mostrou que a evapotranspiração sozinha não pode explicar a variação observada. Por exemplo, a riqueza de árvores da Ásia central é bem maior que riqueza da América do Norte, apesar de testes estatísticos terem mostrado que o clima dessas áreas é parecido (Fig. 9.3). Os autores acreditam que os fatores históricos são mais importantes nessa diferenciação da riqueza entre os biomas de diferentes continentes (LATHAM e RICKLEFS, 1993).

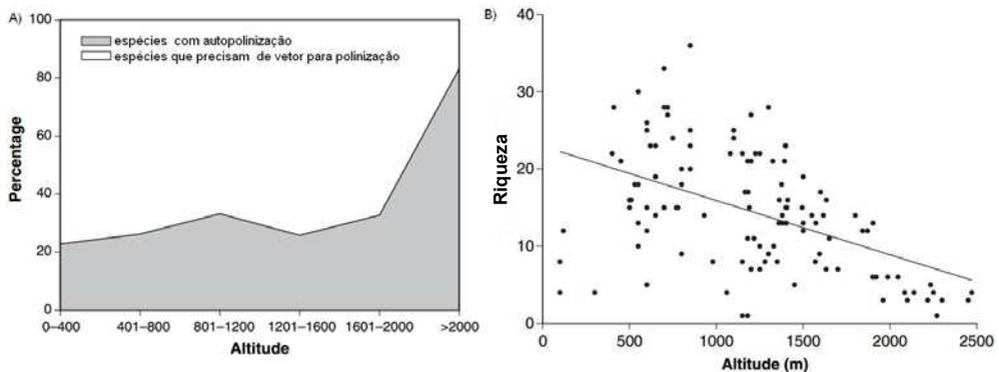
Figura 9.3. Riqueza de árvores em floresta temperada úmida da Europa, Ásia e América do Norte em função da evapotranspiração.



Fonte: adaptado de LATHAM e RICKLEFS, 1993.

Outro padrão que podemos observar em muitos grupos é o da variação altitudinal na riqueza. Um estudo com 135 espécies de orquídeas em uma ilha no Oceano Índico demonstrou que houve um decréscimo da riqueza e das interações estabelecidas com os polinizadores à medida que se aumentava a altitude (Fig. 9.4). As espécies encontradas nas regiões mais altas realizavam, predominantemente, autopolinização e os autores associam o surgimento desta estratégia reprodutiva a menor disponibilidade de polinizadores especializados presentes em altas altitudes. Dessa forma, as orquídeas garantem sua reprodução, mesmo que custe uma redução na sua variabilidade genética (JACQUEMYN *et al.*, 2005).

Figura. 9.4. A) Porcentagem do sistema sexual e B) riqueza de espécies de orquídeas em função da altitude em uma ilha no Oceano Índico.



Fonte: Adaptado de JACQUEMYN *et al.*, 2005.

3 Parâmetros da Biodiversidade

Como é muito difícil quantificar a variedade de espécies, de ecossistemas e genética de uma região, existem técnicas e parâmetros que permitem que seja feita uma avaliação da sua biodiversidade. As principais técnicas envolvem a coleta de campo e

índices matemáticos. Vale lembrar que é praticamente impossível aferir a diversidade de todas as classes de organismos. O mais comum são trabalhos focados em um grupo taxonômico específico em uma determinada região. É o estudo de uma taxocenose (em inglês, *assemblage*). Não confunda taxocenose com comunidade, termo que faz referência a populações de espécies diferentes vivendo em um mesmo lugar, mas que não necessariamente precise ter relações taxonômicas. Quando encontramos um trabalho investigando a taxocenose de mamíferos em uma área da caatinga de São Bento, PB, esperamos ver um estudo focado nas espécies de mamíferos encontradas na área.

Quando se determina a área ser trabalhada, também se determina a escala geográfica que será investigada. Deste modo, a diversidade pode ser avaliada a nível local, chamada de diversidade alfa (α), ou a nível regional, chamada de diversidade beta (β), quando se considera uma região maior, com vários habitats diferentes. A variação de espécies entre os habitats é chamada de diversidade gama (δ).

Já falamos sobre riqueza e abundância, entretanto, retornaremos ao assunto com um enfoque mais prático. O número de espécies em uma área é chamada de riqueza, enquanto o número de indivíduos em cada espécie é conhecido como abundância. Esses são os dois parâmetros mais levantados para caracterização da diversidade. Diante destes dois conceitos, pensaremos em como as variações entre as espécies podem ser descritas para uma área. Para isso observe a tabela abaixo.

Tabela 9.1. Comparação de duas comunidades hipotéticas, cada uma com 4 espécies e 1000 indivíduos.

ESPÉCIES	COMUNIDADE	
	I	II
A	991	250
B	3	250
C	3	250
D	3	250
Total	1000	1000

A riqueza é igual entre as duas comunidades?
A abundância é igual entre as duas comunidades?

Espero que você tenha reparado que a riqueza é a mesma (4 espécies em cada), porém suas abundâncias são bem diferentes: a comunidade I possui uma espécie (A) com alta abundância, enquanto as outras espécies possuem baixíssima abundância. Já na comunidade II há uma distribuição homogênea entre as abundâncias de todas as espécies. Essa relação entre número de espécies e suas abundâncias é chamado de equitabilidade e é muito importante para demonstrar o equilíbrio de uma comunidade, uma vez que populações muito pequenas correm um alto risco de extinção.

Dois índices são muito comuns para demonstrar a diversidade de uma região: Simpson e Shannon-Wiener. O índice de Simpson (D) utiliza exatamente os princípios de riqueza e abundância, conforme demonstrado na fórmula abaixo. Já a equitabilidade (E) pode ser estimada por outra fórmula, de modo que será possível saber como é a distribuição dos indivíduos entre as espécies. Na interpretação do índice de Simpson, deve-se ter em mente que quanto maior seu valor, menor será a diversidade.

$$D = \frac{1}{\sum p} \quad (E) = \frac{D}{D_{\max}} = \frac{1}{\sum p} \times \frac{1}{S}$$

Sendo:
p = abundância das espécies
S = riqueza

Já o índice de Shannon-Wiener atribui uma importância às espécies, que pode ser referente à sua frequência de coleta/encontro. Por isso, esse índice é bastante sensível à amostragem. Amostragem de poucos indivíduos por espécies podem gerar resultados não confiáveis. Para a interpretação do índice de Shannon-Wiener deve-se considerar que quanto maior o valor do índice, maior a diversidade. Seu cálculo é feito através da seguinte fórmula:

$$H = - \sum p_i \log p_i \quad \text{ou} \quad - \sum (n_i/N) \log (n_i/N)$$

Onde:

n_i = valor de importância de cada espécie

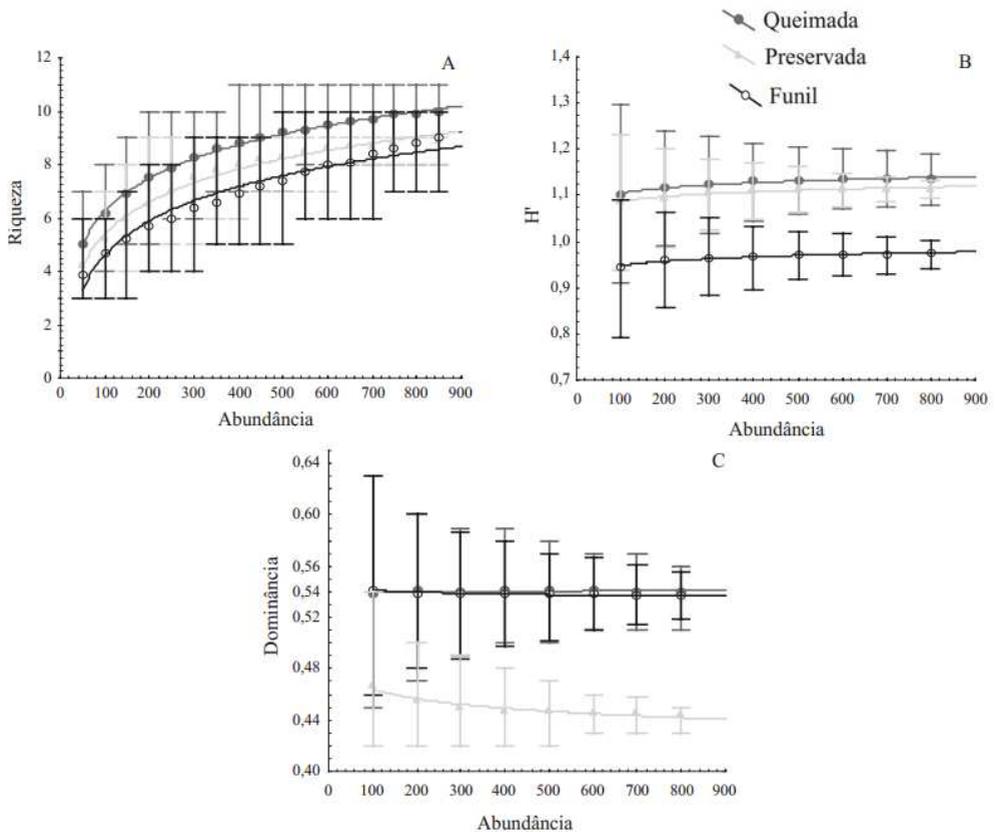
N = total dos valores de importância

P_i = probabilidade de importância de cada espécie = n_i/N

Existem inúmeros trabalhos que utilizam esses índices, o que favorece uma comparação e uma discussão mais fundamentada a respeito dos padrões de estrutura apresentada pelas comunidades. Além disso, trabalhos de levantamento de diversidade são fundamentais para se conhecer e embasar tomadas de decisões a respeito da preservação de espécies. Um trabalho investigando a diversidade de abelhas Euglossina em áreas sujeitas a diferentes graus de impactos demonstrou que não havia diferença na composição das espécies entre uma área preservada e uma área próxima que sofreu queimada, mas essas duas áreas eram

diferentes de uma terceira, que correspondia a um fragmento de menor tamanho (Fig. 9.5). Esse resultado sugere que o tamanho do fragmento é importante para a manutenção das espécies desse grupo. Também podemos entender que a proximidade de uma área perturbada com uma área preservada pode ajudar no fluxo entre as espécies, favorecendo seu processo de sucessão (AGUIAR e GAGLIANONE, 2008). Esse trabalho também demonstrou ocorrer a dominância (Fig. 9.5) da espécie *Eulaema cordata* na área queimada e de *E. nigrita* na menor área. Ambas as espécies são comuns e favorecidas em ambientes perturbados.

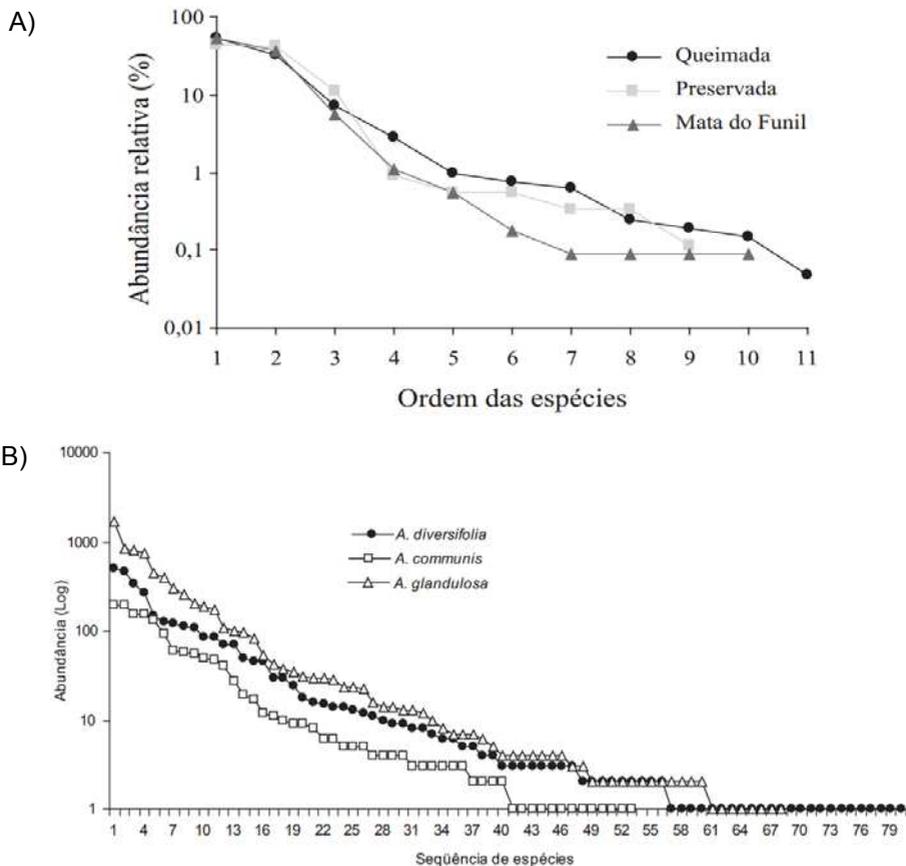
Figura 9.5. Simulações baseadas nos dados de A) riqueza; B) diversidade de Shannon-Wiener e C) dominância de espécies raras em três áreas de mata Atlântica do Rio de Janeiro.



Fonte: Adaptado de AGUIAR e GAGLIANONE, 2008.

Um padrão muito comum é a comunidade apresentar uma estrutura com poucas espécies dominantes e muitas raras. Esse padrão é comum em todos os grupos taxonômicos. O trabalho comentado anteriormente sobre a taxocenose de abelhas (AGUIAR e GAGLIANONE, 2008) encontrou exatamente esse padrão (Fig. 9.6A), assim como um trabalho sobre a taxocenose de ácaros em São Paulo (9.6B; FERES *et al.*, 2007).

Figura 9.6. Distribuição da ordem de abundância relativa para espécies de A) Euglossina em três áreas de mata Atlântica do Rio de Janeiro e B) para uma comunidade de ácaros em São Paulo.



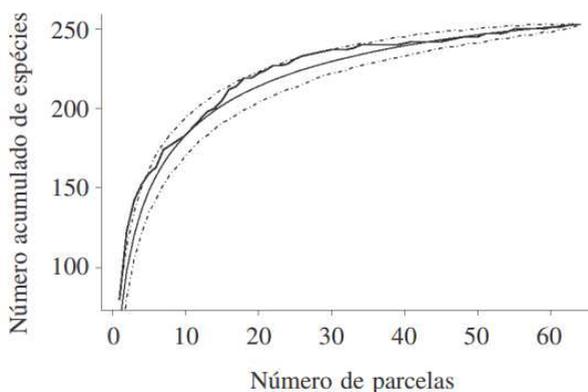
Fonte: Adaptado de AGUIAR e GAGLIANONE, 2008 e FERES *et al.*, 2007.

Portanto, como já foi dito anteriormente, o número de espécies coletadas está muito relacionado com o esforço que se faz nos

trabalhos de campo. Isso significa que logo de início a tendência é encontrar as espécies mais freqüentes, enquanto as espécies raras só serão catalogadas com o aumento dos trabalhos, aumento a probabilidade do seu encontro. Esse fator deve ser considerado quando se compara áreas. Se o esforço foi diferente, os resultados e as conclusões também devem ser. Contudo, existem algumas técnicas estatísticas que podem ajudar a equalizar esses resultados, como a rarefação.

Uma forma de estimar até que ponto o esforço de campo deve continuar para se amostrar um número representativo de espécies é fazer um gráfico com o número de espécies encontradas por trabalho de campo. Enquanto novas espécies estão sendo adicionadas significa que ainda não foi suficiente. Deve-se fazer isso até se obter uma estabilização do gráfico, o que significa que poucas ou nenhuma espécie novas estão sendo encontradas. A curva formada por esse gráfico é chamada de curva do coletor (Fig. 9.7). Hoje existem programas que calculam inclusive a riqueza esperada e é possível comparar essa estimativa com os valores observados (coleta real) (Fig. 9.7).

Figura 9.7. Curva do coletor (linha suave), intervalo de confiança a 95% (linhas tracejadas) e dados de riqueza coletados (linha irregular) para comunidade vegetal.



Fonte: SCHILLING e BATISTA, 2008.

Um bom biólogo é, antes de tudo, um bom observador e pensador. Por isso, não se deixe encantar por belas fórmulas matemáticas e achar que elas explicam tudo. A matemática é muito útil para a biologia, especialmente para a ecologia, pois ela ajuda a dar significados mais confiáveis às informações coletadas. No entanto, números não significam nada se não forem bem interpretados. Digo isso, porque a construção de índices parte do princípio de que vários fatores serão analisados e transformados em um único valor. Quando fazemos isso, acabamos por simplificar alguns dados e esconder informações. Nesse sentido, vale o bom senso de quem está interpretando e quando se trata de biodiversidade, deve-se ter muito cuidado com as conclusões obtidas.

Aplicando seu Conhecimento

1 - Pesquise um trabalho que tenha desenvolvido uma curva do coletor e veja quantas coletas de campo foram necessárias para que o gráfico estabilizasse.

2 - Utilize os dados da tabela 4 para aplicar o índice de Simpson e compare qual comunidade possui maior diversidade.

CAPÍTULO 10

IMPACTOS ANTRÓPICOS

1 Eu, eu, eu, meu, meu, meu

O sistema de crescimento adotado pelos países e incentivado pelos governos induz uma exploração cada vez mais intensa e frequente dos recursos naturais. Sempre que uma produção aumenta, há mais necessidade de energia, de água, de matéria prima, entre muitos outros recursos que a natureza nos fornece. O que impulsiona esse processo é o crescimento econômico. O problema é quando o crescimento econômico passa por cima da capacidade do planeta de fornecer os recursos que são necessários ou da capacidade para sua própria manutenção. Por mais que a natureza seja capaz de se recuperar, e vemos isso com muita frequência, existe um limite de tempo para que isso aconteça. E como o próprio homem diz: “tempo é dinheiro” e na maioria das vezes a destruição é inevitável e irreversível.

2 Atividades antrópicas causadoras de degradação ambiental

2.1 Agropecuária

A agricultura e a pecuária são atividades econômicas muito fortes no Brasil. Infelizmente elas se desenvolvem em áreas de todos os biomas brasileiros, causando sérios impactos. Sempre houve incentivos à implantação destas atividades, como durante o final do século XIX que o plantio do café foi responsável pela devastação de

imensas áreas de Mata Atlântica e durante a década de 60 que o governo incentivou a instalação de fazendas de soja no Cerrado.

A agricultura, principalmente a que envolve pequenos produtores, utiliza o fogo para limpeza do terreno, o que destrói a matéria orgânica do solo. O fogo também é muito utilizado pelos criadores de gado no preparo do pasto. Essa técnica é tão prejudicial que após alguns anos o solo não é mais capaz de suportar safras ou pasto e acaba sendo abandonada. O processo de sucessão secundária é bastante lento, necessitando da presença de pioneiras que sejam capazes de recuperar o solo.

Outras questões relativas às atividades agrícolas estão relacionadas com o uso de agrotóxicos e fertilizantes. Os primeiros são responsáveis por matar diversos animais e interferir na cadeia alimentar, podendo causar sérios desequilíbrios ecológicos. Já os fertilizantes, muitas vezes atingem o lençol freático contaminando a água que será usada tanto como recurso pela população local, como também para a irrigação da plantação. Outro sério dano é observado quando esses compostos atingem rios e lagos. Muitos possuem metais pesados na sua composição, se acumulando ao longo da cadeia trófica e causando a morte de muitos animais e a intoxicação do próprio homem. Uma outra questão é que os fertilizantes são ricos em nitrogênio, o que favorece a eutrofização dos corpos d'água. Os fertilizantes também contribuem na liberação de gases do efeito estufa.

Dentre as formas de controle dos problemas gerados pelo mau planejamento do uso da terra, estão:

- Adubação orgânica – usar adubos de origem orgânica, diminuindo a chance de eutrofização

- Adubação verde – associação de espécies que favoreçam a renovação dos nutrientes do solo.
- Controle biológico de pragas – usar inimigos naturais para combater as pragas
 - Armadilhas – para capturas de insetos
 - Plantio em curvas de níveis para evitar erosão de encostas e assoreamento de rios.

2.2 Derrubada de Florestas

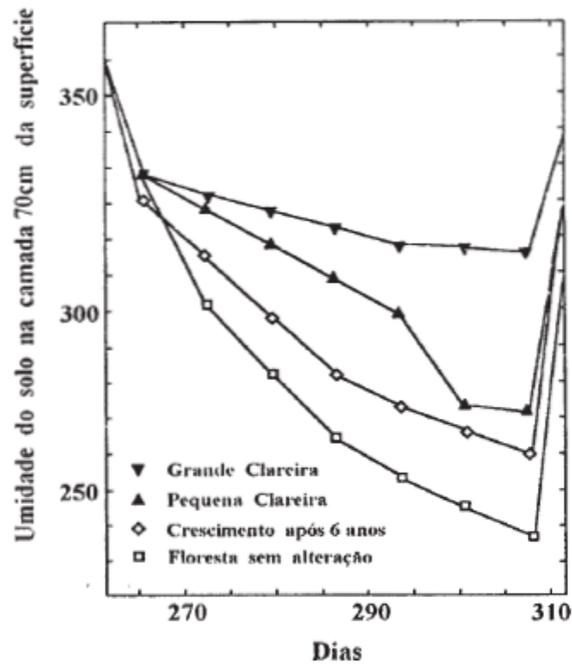
A derrubada de árvores pode ter inúmeros de objetivos: extração de madeira, área para agricultura e pecuária, construção, entre outras. A retirada da cobertura vegetal causa serias alterações no ecossistema. De início, podemos falar da diminuição de habitats e a exclusão de nichos. Muitas espécies serão afetadas e podem até desaparecer da área se suas exigências ecológicas não forem atingidas. O desaparecimento de uma espécie pode funcionar como uma reação em cadeia e afetar muitas outras.

**Lembre-se da complexidade das teias alimentares!
Reveja esse assunto, consultando o Capítulo 4!**

A retirada da cobertura vegetal causa uma alteração das características do solo, diminuindo sua capacidade de absorção. A vegetação tem um papel fundamental na regulação do volume de água, retendo água pela folhagem (reduzindo o impacto no solo) e absorvendo pelas raízes, além da realização do processo de evapotranspiração, interferindo no volume de água disponível no

solo. A presença da vegetação depleciona muito a umidade do solo, devido essa capacidade de retenção das plantas (Fig. 10.1).

Figura 10.1. Umidade do solo (mm/ 70 cm) em uma floresta sem alteração, em clareias de diferentes tamanhos e em uma mata após 6 anos.

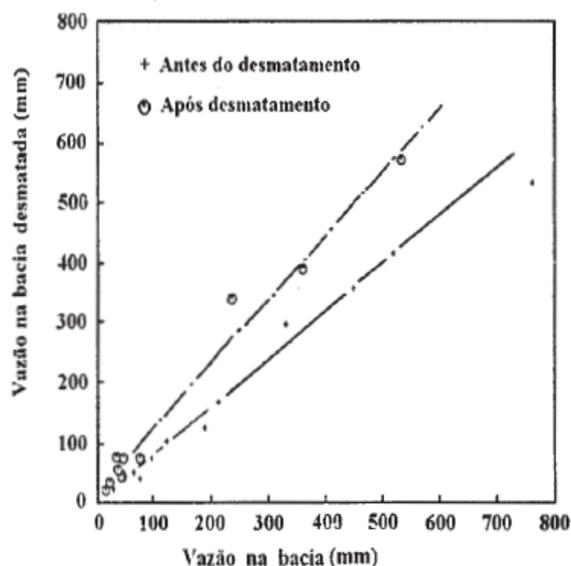


Fonte: TUCCI e CLARKE, 1997.

A capacidade de infiltração da água no solo depende da sua composição, mas solos sem cobertura vegetal se tornam mais compactos, diminuindo a capacidade de infiltração e aumentando o escoamento superficial. Há uma redução drástica do volume de água que chega aos lençóis freáticos. Um trabalho investigando o escoamento em duas bacia, uma com vegetação e outra após um desmatamento, em Taiwan, demonstrou a variação na vazão média, tendo um aumento de até 50% (Fig. 10.2). Além disso, sem proteção no solo, a água da chuva tende a correr para os rios carregando um grande volume de matéria orgânica, promovendo o assoreamento do rio e aumentando os nutrientes que chegam até ele, podendo

favorecer processos de eutrofização. Essa questão é muito importante, pois pode provocar alteração do sistema hídrico de uma região, afetando diretamente a população e podendo prejudicar os sistemas de abastecimento e higiene da região.

Figura 10.2. Relação entre vazões médias em bacia desmatada e em bacia preservada em Taiwan.



Fonte: TUCCI e CLARKE, 1997.

Em regiões onde a recuperação da área degradada pode ser feita, tem-se tentado devolver os meios para se recuperar os processos ecológicos, investindo em espécies que possuam relações com animais, como plantas frutíferas ou com flores que tenham sua polinização realizada por animais (abelhas aves, morcegos). Essas interações aceleram muito o processo de recuperação de área degradada. Associados a esse benefício, tem-se a melhoria dos recursos hídricos, a melhoria na paisagem e conseqüentemente uma melhoria da qualidade de vida da população.

2.3 Mineração

Apesar de ser um importante pilar na economia brasileira, trata-se de uma das atividades mais devastadoras do ponto de vista ambiental. A retirada de minerais exige a remoção da cobertura vegetal e do solo, destruindo sua estrutura ecológica. Rapidamente podemos citar inúmeros impactos, como desmatamento, a destruição de habitats, impacto no fluxo hídrico, assoreamento e eutrofização, perda da qualidade visual, contaminação, entre muitos outros. A Tabela 10.1 apresenta uma síntese dos principais impactos ambientais na produção dos minerais ferro, ouro, chumbo, zinco, prata e carvão no Brasil (FARIAS, 2002).

Hoje a legislação dispõe de uma série de normativas que regulam as atividades mineradoras (para detalhes ver FARIAS, 2002) e exige que a recuperação da área seja considerada ao longo do projeto, na tentativa de reduzir os efeitos tão intensos da atividade. Essa recuperação deve ser feita por profissionais bem capacitados e exigentes, para que consiga reestabelecer o mínimo das atividades ecológicas da região.

Repare que as características originais não serão reestabelecidas, pois uma vez que o ecossistema tenha sido alterado, o homem não é capaz de recuperar exatamente sua estrutura e funcionamento.

Tabela 10.1. Impactos ambientais decorrentes de atividades de mineração.

Substância Mineral	Estado	Principais problemas	Ações Preventivas e ou Corretivas
Ferro	MG	Antigas barragens de contenção, poluição de águas superficiais	Cadastramento das principais barragens de decantação em atividade e as abandonadas; Caracterização das barragens quanto a estabilidade; Preparação de estudos para estabilização
Ouro	PA	Utilização de mercúrio na concentração do ouro de forma inadequada; aumento da turbidez, principalmente na região de Tapajós	Divulgação de técnicas menos impactantes; monitoramento de rios onde houve maior uso de mercúrio
	MG	Rejeitos ricos em arsênio; aumento da turbidez	Mapeamento e contenção dos rejeitos abandonados
	MT	Emissão de mercúrio na queima de amálgama	Divulgação de técnicas menos impactantes
Chumbo, Zinco e Prata	SP	Rejeitos ricos em arsênio	Mapeamento e contenção dos rejeitos abandonados
Chumbo	BA	Rejeitos ricos em arsênio	Mapeamento e contenção dos rejeitos abandonados
Zinco	RJ	Barragem de contenção de rejeito, de antiga metalurgia, em péssimo estado de conservação	Realização das obras sugeridas no estudo contratado pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro
Carvão	SC	Contaminação das águas superficiais e subterrâneas pela drenagem ácida provenientes de antigos depósitos de rejeitos	Atendimento às sugestões contidas no Projeto Conceitual para Recuperação da Bacia Carbonífera Sul Catarinense
Agregados para construção civil	RJ	Produção de areia em Itaguaí/Seropédica: contaminação do lençol freático, uso futuro da terra comprometido devido a criação desordenada de áreas alagadas	Disciplinamento da atividade; Estudos de alternativas de abastecimento
	SP	Produção de areia no Vale do Paraíba acarretando a destruição da mata ciliar, turbidez, conflitos com uso e ocupação do solo, acidentes nas rodovias pelo causados transporte	Disciplinamento da atividade; Estudos de alternativas de abastecimento e de transporte
	RJ e SP	Produção de brita nas Regiões Metropolitanas do Rio de Janeiro e São Paulo, acarretando: vibração, ruído, emissão de particulado, transporte, conflitos com uso e ocupação do solo	Aplicação de técnicas menos impactantes; Estudos de alternativas de abastecimento
Calcário	MG e SP	Mineração em áreas de cavernas com impactos no patrimônio espeleológico	Melhor disciplinamento da atividade através da revisão da Resolução Conama n° 5 de 06/08/1987
Gipsita	PE	Desmatamento da região do Araripe devido a utilização de lenha nos fornos de queima da gipsita	Utilização de outros tipos de combustível e incentivo ao reflorestamento com espécies nativas
Cassiterita	RO e AM	Destruição de Florestas e leitos de rios	Racionalização da atividade para minimizar os impactos

Fonte: FARIAS, 2002.

2.4 Hidrelétricas

O Brasil é um dos países mais favorecidos em termos de rios e quedas de água o que permite a construção de hidrelétricas para a geração de energia. Apesar de ser uma energia ecologicamente

correta (diferente da queima de carvão e petróleo), essa grande construção exige muito do meio ambiente. Os principais impactos provocam a inundação de matas inteiras, matando animais e plantas, isolando outros tantos e dificultando o encontro de novos nichos.

Essa construção requer um sério trabalho de previsão de impacto ambiental para avaliar as conseqüências e tentar remediá-las o mais rápido possível, como a retirada de alguns animais, previsão de assoreamento e erosão, preservação genética das espécies, impedindo seu isolamento e evitar possíveis epidemias.

2.5 Poluição

Segundo a Lei 6938 (Lei que define a Política Nacional do Meio Ambiente), poluição é a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

1. prejudiquem a saúde, a segurança e o bem estar da população;
2. criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
3. afetem desfavoravelmente a biota;
4. afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
5. lancem matéria ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

O ser humano pode agir de infinitas maneiras promovendo modificações na qualidade do ambiente, por isso vamos ver as principais formas de poluição.

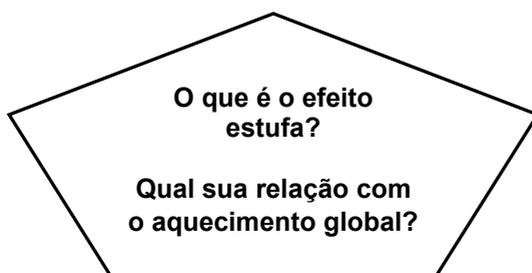
2.5.1 Poluição atmosférica

Consiste na liberação de resíduos ou vapores que alterem e prejudiquem a qualidade do ar, afetando os seres vivos na sua respiração, na saúde de seus tecidos ou afetando construções. A maior parte dos resíduos tóxicos são eliminados por carros, fábricas e queimadas.

Um gás que causa muitos efeitos negativos é o ozônio. Apesar de ser importantíssimo na estratosfera, protegendo a Terra contra os raios UV do Sol, na troposfera ele reage com o oxigênio, se tornando altamente oxidante. O ozônio é, prioritariamente, formado a partir de reações do CO_2 com NO_x (óxidos de nitrogênio), gases liberados como produto da queima da gasolina e outros combustíveis, em geral, e gases de processos industriais. Na estratosfera, o ozônio é tóxico, causando intoxicações e complicações respiratórias e fotossintéticas.

Os gases NO_x e, também, os SO_x (óxidos de enxofre) estão envolvidos no processo de formação da chuva ácida, gerando serios problemas para cidades, plantações e a biodiversidade em geral. Lembre-se dos temas discutidos no Capítulo 5.

Outra questão muito discutida atualmente é a potencialização do efeito estufa, que também é um processo essencial para manter as condições para que haja vida no planeta, pois regula a temperatura da Terra.



Lembre-se do Capítulo 5, pois já discutimos essa questão!

O efeito estufa ocorre pelo acúmulo de gás carbônico, que impede que toda radiação do Sol seja refletida de volta ao espaço. No entanto, com o aumento na liberação de gás carbônico e outros gases do efeito estufa na atmosfera, mais calor está ficando retido, o que tem provocado um aumento na temperatura do planeta. Conseqüentemente, sérios desastres ambientais tem acontecido em resposta ao aumento da temperatura.

Outro tipo de poluição pode ser provocada pela liberação de resíduos e poeira que causa uma dificuldade respiratória e uma poluição visual. A situação é ainda pior em regiões quentes, pois não há mistura do ar e a poluição permanece no ar por mais tempo.

2.5.2 Poluição das águas

Muitos impactos nos ambientes aquáticos já foram citados ao longo desse livro. Mas a eutrofização é o que merece maior destaque, pois modifica tão drasticamente as condições de um rio/lago que o deixa irreconhecível.

Mais uma vez retomando as ideias do Capítulo 5. O que você lembra sobre as consequências do processo de eutrofização?

Perceba que ao falar de poluição, fazemos muitas referências aos ciclos dos nutrientes!

O aumento na concentração de nutrientes favorece o crescimento de algas, que consomem o oxigênio disponível, além de diminuir a transparência da água. Essas algas também podem produzir substâncias tóxicas e, com a queda da taxa de oxigênio, ocorre a morte de muitos animais (peixes, moluscos). Ainda temos o acúmulo

de sedimentos. Nessa fase, ocorre a proliferação dos decompositores anaeróbicos e uma total modificação das características físicas e químicas da água, que passa a liberar um cheiro característico de ovo podre. Esse processo pode acontecer naturalmente, mas de maneira lenta, ao contrario do processo induzido por ações antrópicas, onde o despejo de substâncias orgânicas, como esgoto, ocorre rapidamente.

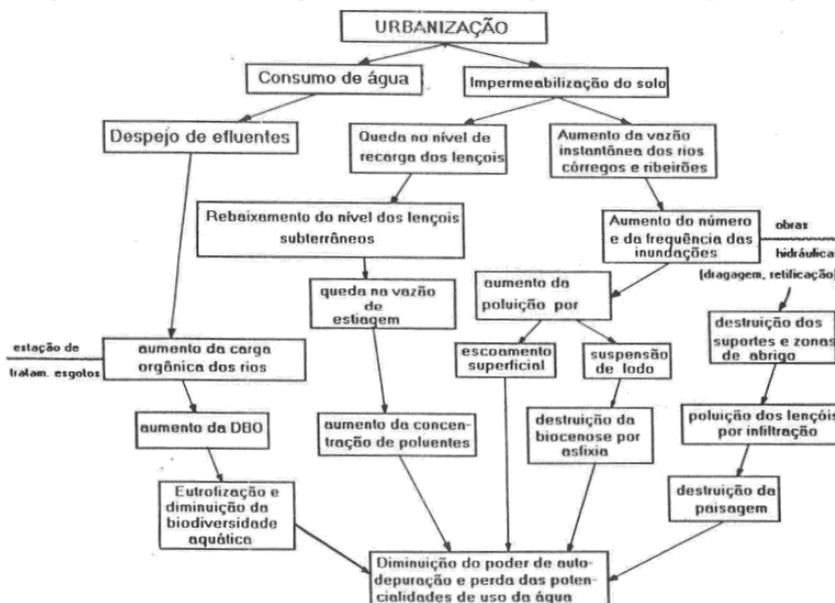
Outro tipo de poluição muito seria é promovida por lixões ou depósitos de lixo sem qualquer controle. Apesar da aprovação da lei 12.305 em 2010 que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos e determina, claramente que, até 2014, todos os municípios com mais 20 mil habitantes deveriam ter tratamento adequado dos seus resíduos, infelizmente, isso ainda não é uma realidade no nosso país. O correto é que todos os resíduos sejam separados, que haja coleta seletiva e posterior reciclagem desse produto. O material a ser descartado, chamado de rejeito (aquilo que não tem mais utilidade) deve ser encaminhado para um aterro sanitário, onde será depositado de maneira correta para sua decomposição.

No entanto, hoje o que encontramos nas cidades é tanto o resíduo sólido, quanto o úmido, sendo descartados de maneira misturada e em locais inapropriados. Apesar dos resíduos gerarem inúmeros problemas ambientais, de saúde pública e sociais (ex., doenças e problemas sociais com catadores), estamos tratando desse assunto neste capítulo porque uma das principais consequências dos resíduos é a liberação de um líquido altamente tóxico, chamado de chorume, que pode penetrar no solo e contaminar lençóis freáticos. Associado ao chorume, há a liberação de gases gerados por processo anaeróbico, dentre eles, principalmente o metano, que possui um grande potencial energético

e pode ser utilizado como biogás. Essa é mais uma vantagem de um aterro sanitário corretamente construído. O biogás pode ser direcionado para produção de energia e abastecer até pequenas cidades. Muitos países, inclusive no Brasil, possuem empresas que fazem a canalização do biogás gerado nos lixões e o vendem como créditos de carbono e energia. É uma forma de gerar renda com o controle ambiental.

A urbanização é um processo desejado pelo poder público e pela população, em geral, no entanto, os problemas gerados a partir de um crescimento desgovernado tem sérias consequências para a qualidade da vida da sociedade e ambiental da região. VARGAS (1999) construiu um bom esquema, identificando os principais pontos negativos da urbanização frente aos corpos hídricos (Fig. 10.3). As ações que visam controlar estes efeitos, na verdade são estratégias para mitigar os problemas e raramente os resolvem totalmente.

Figura 10.3. Efeitos negativos da urbanização sobre o ciclo da água.



Fonte: VARGAS, 1999.

A remediação desses problemas ambientais pode ser alcançada com o controle da emissão de esgoto e outros compostos orgânicos em corpos d'água com pouca renovação e com o isolamento do solo em áreas de lixão.

2.5.3 Poluição dos solos

As atividades exercidas de maneira errada nos solos refletem não apenas na perda de suas características, mas também afetam nas poluições da água e atmosférica, como foi visto até agora. Mas, a retirada da cobertura vegetal trará inúmeras modificações nas características de absorção, composição e disponibilidade de nutrientes do solo e conseqüentemente afetar todos os animais que dele dependem.

A poluição por substâncias tóxicas traz sérios efeitos na qualidade do solo e o tornam impróprios para o plantio, principalmente se forem substâncias que se acumulem ao longo da cadeia alimentar.

3 O que fazer?

Para se combater os problemas antrópicos nada melhor do que a prevenção. É claro que muito já foi perdido, mas temos que ter mais consciência de como usar de maneira racional os recursos ainda disponíveis. Acredito que a educação seja o melhor caminho para isso, pois ninguém cuida do que não conhece. Esse é o momento de uma educação no sentido mais amplo, não apenas de conteúdo, mas de conhecimento para a vida. Alcançando as crianças, temos muita chance de mudar.

A conservação também pode ser um caminho através do qual a sociedade pode crescer. Hoje com os créditos de carbono, muito se incentiva a destinação inteligente de resíduos, além do controle ambiental exercido através de leis. Vale salientar que no Brasil existem leis duras para cumprimento e a defesa do meio ambiente, no entanto, muitas não são respeitadas e muitos casos de agressão aos ecossistemas, não são nem denunciados. Por isso, a educação ambiental, aliada a uma gestão pública comprometida, pode gerar mudanças nessa realidade. É a partir da participação e sensibilização individual que podemos melhorar o nosso entorno e partir para mudanças maiores.

Ampliando seu conhecimento

Quais impactos antrópicos podem ser observados na sua região? Existem projetos para remediá-los? Qual a participação da sociedade e do governo?



Mais uma vez estamos tratando de uma temática facilmente contextualizada, pois hoje não é raro encontrar problemas ambientais. Estimule seus alunos a observarem essas questões no seu bairro, nos arredores da escola. Propor uma atividade para combater esses problemas é muito estimulante!

CAPÍTULO 11

CONSERVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE

1 Um pouco de história

A preocupação com a preservação do meio ambiente não é uma questão recente. No entanto, os norteadores dessa preservação mudaram drasticamente ao longo dos anos. É interessante perceber que, com as mudanças de pensamento e com o aumento do conhecimento, as discussões a este respeito se tomaram cada vez mais robustas. Antigamente a preocupação com a preservação estava centrada na certeza da continuidade de recursos a serem explorados. Ou seja, o interesse econômico era o norteador das decisões. Um bom exemplo foi uma atitude pioneira tomada por D. Pedro II em 1861: o reflorestamento da Floresta da Tijuca. A retirada da cobertura vegetal para o plantio de café nas encostas da cidade do Rio de Janeiro começou a afetar seriamente o abastecimento de água da cidade, uma vez que seus mananciais eram protegidos por tal vegetação. Atualmente a preocupação com a preservação engloba outras questões tanto ao nível ecológico, quanto econômico e social. A preocupação com a manutenção da biodiversidade é bem recente na nossa história, mas já é o objetivo central de muitas decisões que são tomadas, como a definição de algumas das Unidades de Conservação, legalmente instituídas.

A idéia do desenvolvimento sustentável, tão falado atualmente, é bem recente: surgiu de discussões das décadas de 60 e 70, quando o crescimento industrial teve seu maior pico e começou-se a perceber que a exploração dos recursos naturais não poderia acontecer de maneira indiscriminada. A Terra não seria

capaz de repor os recursos na mesma velocidade em que eles estavam sendo retirados e chegaria um ponto em que nem o mínimo para a sobrevivência seria capaz de ser reposto. A idéia era clara: o homem deveria rever seu modo de exploração do planeta!

Em 1972, a Organização das Nações Unidas (ONU) realizou o primeiro encontro oficial entre nações (Conferência de Estocolmo) para discutir questões relativas ao meio ambiente. Tratava-se de um período difícil por causa da Guerra Fria, mas a idéia era incentivar os países a desenvolverem leis ambientais. A partir deste evento, cresceu muito o envolvimento de entidades públicas e privadas com a questão ambiental e centenas de pequenos eventos ocorreram em todo mundo.

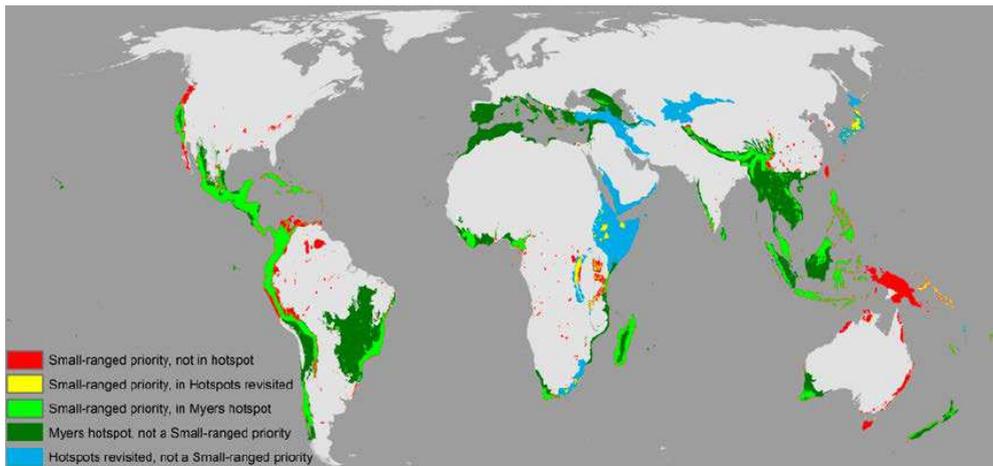
Uma mobilização global só veio ocorrer mesmo 20 anos depois, no encontro chamado Rio 92, que foi a segunda conferência ambiental promovida pela ONU, no Rio de Janeiro. Ela contou com a participação de mais de 100 chefes de Estados e discutiu questões reais baseadas em dados mais concretos, como a poluição, o aquecimento global e a preservação da biodiversidade. Muitos tratados internacionais importantes foram assinados como a Convenção sobre Mudanças Climáticas, Convênio sobre a Biodiversidade, Agenda 21 e a Declaração de Princípios sobre Uso das Florestas. Foi nesse evento também que se definiu a idéia de desenvolvimento sustentável como sendo o “desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades”. Essa idéia deixa bem explícito a preocupação com o uso racional dos recursos naturais, indicando que a natureza não é propriedade do homem.

Os acordos tratados durante a Rio 92 foram bem mais realistas que os anteriores e se preocupavam também com as questões sociais. Por isso, há um incentivo ao crescimento dos países do hemisfério sul. Um dos compromissos mais importantes foi iniciado em 92 e concretizado na reunião seguinte, o Protocolo de Kyoto. Muitos países assumiram de diminuir a emissão de gás carbônico para controle da temperatura global, se comprometendo a pagar caso ultrapassassem os limites estabelecidos. Assim nasceu uma nova forma de negociação relacionada às questões ambientais: os créditos de carbono. A exceção nesse controle de emissão foi concedida justamente aos países subdesenvolvidos, de modo que eles pudessem investir no seu crescimento econômico.

Percebemos que o número de pesquisas objetivando responder questões sobre conservação vem aumentando em rápida velocidade. Um trabalho muito interessante que trata do tema definiu áreas prioritárias para conservação baseado na área de ocorrência, centros de diversidade e graus de ameaça de 21.000 espécies de mamíferos, aves e anfíbios (JENKINS *et al.*, 2013). Eles destacaram as áreas de *hot spots*, que se sobrepõem aos centros de diversidades e também definiram áreas críticas para conservação que não estavam previstas pelos *hot spots* (Fig.11.1). Este trabalho demonstrou que existem muitas áreas de grande biodiversidade, mas que não estão inseridas em programas de proteção ou não eram identificadas como prioritárias.

Relembre o conceito de *hot spot* consultando o Capítulo 3.

Figura 11.1. Comparação de centros de diversidade para vertebrados com baixa distribuição, considerando também os *hot spots* mundiais.



Fonte: JENKINS *et al.*, 2013.

Nesse capítulo, falaremos de questões mais aplicadas e dos fatores mais relevantes para a preservação e que ameaçam da biodiversidade. Por isso, muitas ideias estão relacionadas aos conteúdos apresentados e discutidos em capítulos anteriores. Então, não hesite em buscar e lembrar essas informações. Apesar de trabalharmos aqui com as temáticas/ áreas da Ecologia de maneira separada como uma estratégia didática, na natureza todo esse processo ocorre simultaneamente e de maneira contínua. E falar de conservação e sustentabilidade é um dos momentos onde é essencial a compreensão de conceitos ecológicos.

2 Sustentabilidade

Mas com um crescimento econômico e uma sociedade que é induzida cada vez mais ao consumo, como fazer para se atingir o verdadeiro desenvolvimento sustentável? Realmente não existe uma

fórmula e essa resposta vai depender diretamente do estilo de vida de cada sociedade. Mas alguns princípios podem ser seguidos para garantir o uso equilibrado dos recursos.

Primeiro as sociedades devem investir no uso de energias renováveis, como hidrelétricas, usinas eólicas e solares. Quanto mais matérias-primas renováveis puderem ser exploradas, menor será o impacto na natureza. Isso é válido principalmente para os países desenvolvidos do hemisfério norte que tem sua produção de energia muito baseada em termoelétricas, ou seja, na queima de combustíveis fósseis para produção de calor. Além desses combustíveis serem recursos não renováveis, eles liberam altas concentrações de gases do efeito estufa, favorecendo o aumento da temperatura do planeta.

Hoje no Brasil, estamos sentindo os custos de depender de energia termoelétrica. Apesar da nossa energia ser prioritariamente proveniente de hidroelétricas, em anos de pouca chuva vivemos em na dependência de recursos termoelétricos, o que resulta no encarecimento da energia, além de haver um risco de racionamento.

A exploração dos recursos deve ser feita de maneira controlada, e quando tratar de seres vivos, respeitando-se o ciclo de vida do organismo que está sendo explorado. Deve-se evitar o uso dos recursos em períodos como reprodução ou crescimento, que é justamente quando ocorre a renovação da população e a continuidade da produção dos recursos. Isso significa que não respeitar os períodos de reprodução e crescimento, as populações podem não conseguir se manter ao longo do tempo.

Lembre-se do caso da sardinha e dos peixes predadores de topo mostrados no Capítulo 6.

É de extrema importância que paralelo à idéia de sustentabilidade esteja a idéia de educação. De nada adiantarão projetos localizados se a população não estiver envolvida como um todo. A conscientização da criança deve ser trabalhada desde o início da sua vida escolar e de maneira multidisciplinar. A conscientização é importantíssima para que a preservação e o uso sustentável ocorram de maneira efetiva. Ninguém preserva o que não conhece!

3 Educação Ambiental

A Educação Ambiental (EA) passou a ser vista como fundamental para conservação e para melhoria da qualidade de vida a partir da Primeira Conferência Mundial de Meio Ambiente Humano, em Estocolmo, 1972. No entanto, foi a partir da Conferência Intergovernamental sobre Educação Ambiental, em Tsibilisi (EUA), em 1977, que ela começa a ser discutida do ponto de vista aplicado. No Brasil, a EA está assegurada pela Lei de Diretrizes e Base da Educação Nacional – LDB (Lei 9394/96), que constitui a lei de maior importância para o sistema educacional brasileiro e coloca a EA com um caráter interdisciplinar e permanente. Isso significa que não deve existir uma disciplina de EA, mas atividades permeando todas as disciplinas e que abordem questões o dia-a-dia, estimulando a sensibilização.

Por tudo isso, podemos dizer que os objetivos da EA é preparar o cidadão para a justiça social e a cidadania nacional e planetária, ou seja, preparar um cidadão consciente e crítico em relação aos aspectos sociais e ambientais, visando:

- Conscientização - tomada de consciência dos problemas ambientais globais.
- Conhecimento - compreensão sobre o meio ambiente global
- Comportamento/ Sensibilização - assumir posturas em relação ao ambiente, no sentido de preservá-lo.

A EA pode ser realizada em todos os espaços que educam o cidadão. Ex: escolas, igrejas, comunidades, Unidades de Conservação, etc. Dessa forma, podemos classifica-las como EA formal, quando ela é realizada em no ambiente da escola, de maneira sistemática. Ou ainda, como EA não formal, quando ela é desenvolvida por outros grupos sociais, em geral, de maneira menos organizada, o que não significa dizer menos eficiente. Dessa forma, como matéria multidisciplinar que é, a EA pode ser desenvolvida por profissionais de qualquer área, líderes, parentes, etc. Tais perspectivas educacionais podem ser e, em geral, são intrinsecamente complementares.

A EA pode ser trabalhada com qualquer cidadão, de qualquer idade, sendo que, em geral, crianças e jovens são demonstram grande interesse por esse conhecimento e podem agir como multiplicadores do conhecimento. Dentro das atividades de EA trabalha-se as mais variadas informações que levem à discussões relacionadas ao ambiente, mas também se possa extrapolar à nível global. Ex: saneamento básico, extinção de espécies, poluição em geral, efeito estufa, biodiversidade, reciclagem de lixo doméstico e industrial, energia nuclear, produção armamentista, etc. A contextualização das atividades garante a atenção dos envolvidos assim como o despertar do seu interesse para o problema discutido.

A EA é um momento onde os envolvidos devem ser estimulados à mudança. E essa não é uma tarefa fácil! Por isso, a

estratégia usada é de suma importância. O uso de aulas apenas expositivas não é aconselhado. Aulas práticas, com recurso audiovisuais poderão ser bastante proveitosas. É importante que as aulas sejam participativas, em que o ouvinte interaja, seja expondo dúvidas, seja propondo soluções. Devem-se valorizar experiências pessoais e utilizar o máximo de práticas e vivências possíveis. Partindo-se do princípio de que a EA objetiva a sensibilização, atitudes no entorno dos envolvidos é uma excelente estratégia.

4 Ameaças à biodiversidade

Dentre os objetivos da preservação, a manutenção da biodiversidade merece um destaque. Pode não parecer, mas preservar a variedade de espécies, ecossistemas e genética pode trazer muitos benefícios diretos para o homem. Infelizmente, o homem dá muito mais valor quando percebe que pode ser beneficiado de alguma maneira direta. Voltemos à questão do reflorestamento da Floresta da Tijuca no Rio de Janeiro, ordenado por D. Pedro II. Essa atitude foi totalmente motivada por um benefício real: eles compreenderam que a preservação da floresta (entendendo-se toda sua biodiversidade) era essencial para a disponibilidade da água na cidade. Esse é apenas um benefício que a preservação da biodiversidade pode trazer diretamente ao homem. Considerando essa perspectiva, podemos pensar que muitas espécies animais e vegetais ainda não conhecidas ou ainda não estudadas podem guardar a cura de doenças. Muitas espécies podem ser usadas na produção de produtos cosméticos ou ser matéria-prima de fibras para utensílios e roupa. A preservação pode garantir áreas de lazer ou para preservação da paisagens para o homem. Ainda, podemos

considerar os serviços ecossistêmicos, como discutido no Capítulo 5, que custariam uma grande soma de dinheiro a todos os cidadãos. Assim, pecebemos que agragar valores aos recursos e ao ecossistema preservado pode ser uma boa estratégia para favorecer sua preservação.

No entanto, ainda hoje o mais comum é ver o homem com uma visão antropocêntrica em relação ao uso dos recursos naturais. Por isso, os fatores que mais afetam a biodiversidade estão muito relacionados às atividades humanas. Vamos ver alguns deles (uma descrição completa pode ser obtida em PRIMACK e RODRIGUES, 2001):

- Destruição de habitat – acredito que seja fácil perceber que quando se destrói o habitat de uma espécie, ela não tem mais como permanecer na região. Ela perde as condições mínimas de abrigo, alimento e parceiros, desaparecendo da área. Se for uma espécie que ocorra em outras regiões, temos apenas uma extinção local, mas se ela for endêmica, a perda é irrecuperável do ponto de vista genético. Entendendo a complexidade de um ecossistema e das relações entre as espécies (discutidos nos Capítulos, 4, 5, 6 e 7), fica evidente os comprometimentos da perda de habitat para a conservação.

- Degradação de habitat – a degradação geralmente vem associada à destruição do habitat. Algumas vezes a espécie consegue se manter em condições muito desfavováveis, como em áreas poluídas, porém, dificilmente ela conseguirá permanecer por muito tempo.

- Fragmentação de habitas – as espécies exigem uma área de vida mínima para sua sobrevivência. Isso significa que se área for reduzida, haverá um grande risco da sua extinção. Esse fator é muito

importante para espécies de grande porte, como grandes mamíferos, que necessitam de muito espaço. Em geral, estas são as primeiras espécies a desaparecerem. Além disso, espécies que tem sua locomoção restrita podem se manter isolada de outros fragmentos, tendo uma queda na sua variabilidade genética e podendo manter sua população pequena e isolada. O tamanho populacional é um importante fator para a continuidade das espécies, vimos isso no Capítulo 6. Atualmente, muito se discute em torno da preservação de complexos de fragmentos, justamente para garantir que espécies que sejam capazes de se locomover entre eles garantam sua variabilidade (chamadas de metapopulação).

- Superexploração para uso humano – essa questão remete a discussão anterior à respeito do limite e do momento para se explorar os recursos. É importantíssimo haver um estudo prévio do comportamento populacional para se definir os períodos de reposição da espécie.

- Introdução de espécies invasoras – Com a movimentação do homem por todos os continentes, as espécies são facilmente levadas, mesmo quando isso ocorre de maneira involuntária, não intencional. E esse processo é bastante antigo: há vários relatos de como ratos e insetos alcançaram as Américas durante as explorações navais européias. Hoje, um sério problema é a água de lastro usado para contrabalançar o peso de navios de carga. Essa água é recolhida em uma costa e quando o navio chega a seu destino, a libera, liberando junto larvas e animais trazidos do local de origem. Espécies invasoras, quando respondem bem as variáveis ambientais, tem sua população crescendo de maneira exponencial e contínua (Lembra-se do Capítulo 6!). Isso ocorre porque essas espécies tem comida abundante e não possuem inimigos naturais ou

doenças no novo local. Com o crescimento da população, elas rapidamente excluem espécies nativas por competição ou transmitindo-lhes doenças.

5 Ações Brasileiras

O Brasil, assim como outros países em desenvolvimento, busca seu crescimento econômico. Esse processo muitas vezes vem acompanhado da exploração descontrolada de recursos naturais. No intuito de reduzir os impactos gerados pelo crescimento econômico e garantir a preservação de nossa biodiversidade, existem varias leis ambientais importantes em vigor no país. Vamos ver um pouco da história da conservação brasileira e de como ela se encontra nos dias atuais, com destaque para algumas leis.

A preocupação ambiental pode ser considerada bastante recente na história da humanidade e no Brasil não foi diferente. Na verdade, os primeiros esforços visando à conservação da biodiversidade e não apenas a preservação de algum recurso de interesse econômico em específico, foram as criações dos primeiros Parques Nacionais. Seguindo uma tendência internacional, o Brasil criou seu primeiro Parque Nacional, o Parque Nacional de Itatiaia (RJ) em 1937 e em 1939 houve a criação de mais três: Parque do Iguaçu (RS), Serra dos Órgãos (RJ) e Três Quedas (PR).

Nossa primeira lei ambiental específica foi desenvolvida em 1965, o Código Florestal Brasileiro (Lei 4771/1965), que visava à preservação de florestas, matas ciliares entre outras áreas de grande importância para preservação da biodiversidade e também determinava punições a quem não cumprisse suas determinações. Em 2012, o Código Florestal Brasileiro foi reformulado (Lei 12.651),

com importantes mudanças e um grande embate entre ruralistas e ambientalistas. Dentre as mudanças aprovadas, podemos destacar um retrocesso na redução das faixas mínimas das Áreas de Preservação Permanentes (APPs), a redução das áreas de Reserva Legal e a anistia concedida aos proprietários que tenham realizado desamatações.

A Lei 9.605 de 1998 define as infrações e punições para os crimes ambientais. Ela determina exatamente quais atividades são permitidas e proibidas e enumera as atividades permitidas de serem realizadas em áreas naturais. Dentro deste contexto, merecem destaques as leis de criação do IBAMA e do ICMBio, que são órgãos ambientais importantíssimos responsáveis pela autorização de atividades ambientais e da gestão das Unidades de Conservação, respectivamente. Ambos têm poder de punição, em caso de irregularidades.

Uma lei ambiental que merece destaque, pois contribuiu muito com a conservação, é a Lei 9985/2000, que determina a criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação. A partir dessa lei foi possível a definição dos critérios para criação das Unidades de Conservação e a determinação das atividades que poderiam ser desenvolvidas no seu interior. Outros aspectos importantes que garantiram o crescente interesse pela conservação no Brasil foram as listas nacionais e estaduais de espécies ameaçadas de extinção, o surgimento das organizações não-governamentais (ONG) e o avanço da biologia da Conservação, que conta com grandes pesquisadores brasileiros.

Ainda podemos citar leis essenciais para a manutenção da biodiversidade e dos recursos naturais, como a Lei 9.433, que regulamenta a Política Nacional de Recursos Hídricos, a Lei de

Parcelamento do Solo Urbano (Lei 6.766), que regulamente o uso do solo urbano e reforça a proteção em áreas de preservação e, mais recentemente, a Lei dos Resíduos Sólidos (Lei 12.305) aprovada em 2010, que regulamenta o destino e o tratamento que deve ser dados aos resíduos.

A legislação ambiental brasileira conta com importantes leis ambientais que englobam os principais pontos para garantir a conservação da biodiversidade. De um modo geral, é uma legislação abrangente, no entanto, a fiscalização de áreas tão grandes como as encontradas no Brasil é muito difícil. Infelizmente a falta de fiscalização aliada à pouca efetividade de provas em casos de crimes ambientais facilita muito a existência de infrações.

Aplicando seu conhecimento

1 - Pesquise as categorias de Unidades de Conservação existente na lei 9985/2000 e relacione as Unidades classificadas como Proteção Integral e Uso Sustentável.

2 - Pesquise quais tipos de UC existem no seu estado e na sua cidade.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, W. M. ; GAGLIANONE, M. C. Comunidade de abelhas Euglossina (Hymenoptera: Apidae) em remanescentes de mata estacional semidecidual sobre tabuleiro no estado do Rio de Janeiro. **Neotropical Entomology**, v. 37, n. 2, p. 118-125. 2008.
- ALMEIDA, G. V. L.; SILVA, G. L.; CAMPOS, T. F.; MUNIZ, S. L. S.; SANTOS, E. M. Predação do lagarto *Tropidurus cocorobensis* pela serpente *Oxybelisa eneus*. **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão**, v. 25, p. 83-86. 2009.
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Fenologia de espécies lenhosas da caatinga do Seridó, RN. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 491-499. 2009.
- APRILE, F. M.; DARWICH, A. J. Regime térmico e a dinâmica do oxigênio em um lago meromítico de águas pretas da região amazônica. **Brazilian Journal of Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 37-43. 2009.
- BADII, M. H.; LANDEROS, J.; VALENZUELEA, J.; RODRÍGUEZ, R.; OCHOA, Y.; CERNA, E. Patrones reproductivos. **Daena: International Journal of Good Conscience**, v. 8, n. 1, p. 55-63. 2013.
- BAUER, R. T. Hermafroditismo em camarones: el sistema sexual y surelación com atributos socioecológicos. **Interciencia**, v. 26, n. 10, p. 434-439.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. Ecologia: de indivíduos a ecossistemas. 4^a Ed. **Artmed editora**, Porto Alegre. 2007.

BRAGA, L. G. T.; LIMA, S. L. Influencia da temperatura ambiente no desempenho da rã-touro, *Rana catesbeiana* (Shaw, 1802) na fase de recria. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 6, p. 1659-1663. 2001

CALBO, M. E. R.; MORAES, J. A. P. V. Efeitos da deficiência de água em plantas de *Euterpe oleraceae* (açai). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, n. 3, p.225-230. 2000.

CONTE, C. E.; ROSSA-FERES, D. C. Diversidade e ocorrência temporal da anurofauna (Amphibia, Anura) em São José dos Pinhais, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, n.23, v.1, p. 162-175. 2006.

COSTA, C. M. Ocorrência de poliandria na broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, SP. 2014.

CRUZ, D. D.; ABREU, V. H. R.; VAN SLUYS, M. The effect of hummingbird flower mites on nectar availability of two sympatric *Heliconia* species in a Brazilian Atlantic forest. **Annals of Botany**, v. 100, p. 581-588. 2007.

CUNHA, F. F.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; PEREIRA, O. G.; ABREU, F. V. S. Produtividade do capim tanzânia em diferentes níveis e frequências de irrigação. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 103-108. 2008.

ESPOSITO, T.; SOUZA, D. B.; ROSSINI, D.; SANTOS, R.; FERNADES, S.; FLYNN, M. N. Marisma fluxo energético e pirâmide de biomassa. **Environmental and Health World Congress**, Santos-SP, p. 693-694. 2006.

EUTRÓPIO, F. J.; GOMES, L. C. Dieta alimentar de *Trichomycterus longibarbatu*s Costa, 1992 e *Pimelodella transitoria* Miranda Ribeiro, 1905 (Siluriformes): um caso de competição interespecífica. **Natureza online**, v. 8, n. 2, p. 67-70. 2010.

FARIAS, C. E. G. Mineração e meio ambiente no Brasil. Relatório Preparado para o CGEE/ PNUD, Contrato 2002/ 001604. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/minera.pdf. 2002.

FERES, R. J. F.; BUOSI, R.; DAUD, R. D. ; DEMITE, P. R. Padrões ecológicos da comunidade de ácaros em euforbiáceas de um fragmento de mata estacional semidecidual, no estado de São Paulo. **Biota Neotropical**, v. 7, n. 2, p. 185-194.

FERRAGUT, C.; BICUDO, D. C. Efeito de diferentes níveis de enriquecimento por fósforo sobre a estrutura da comunidade perifítica em represa oligotrófica tropical (São Paulo, Brasil). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 32, n. 3, p.571-585. 2009.

FREIRE, K. M. F. ; PAULY, D. Fishing down Brazilian marine food webs, with emphasis on the east Brazil large marine ecosystem. **Fisheries Research**, v. 105, p. 57-62. 2010.

FREITAS, W. K.; MAGALHÃES, L. M. S. Florística, diversidade e distribuição espacial das espécies arbóreas de um trecho de floresta estacional semidecidual da Serra da Concórdia, RJ. **Floresta**, v. 44, n.2, p.259-270. 2014.

GALETTI, M.; DONATTI, C. I.; PIRES, A. S.; GUIMARÃES Jr., P. R.; JORDANO, P. Seed survival and dispersal of an endemic Atlantic Forest palm: the combined effects of defaunation and forest fragmentation. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 151, p. 151-141. 2006.

GALLI, C. S.; ABE, D. S. Disponibilidade, Poluição e Eutrofização das Águas. In BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. (Org.), **Águas do Brasil: Análises Estratégicas**. Instituto de Botânica, São Paulo. 2010.

GOUGH, C. M. Terrestrial primary production: fuel for life. **Nature Education Knowledge**, v. 3, n. 10, p. 28.

GRANZINOLLI, M. A. M. **Ecologia alimentar do gavião-do-rabo-branco *Buteo albicaudatus* (Falconiformes: Accipitridae) no município de Juiz de Fora, sudeste do estado de Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de São Paulo, SP. 2003.

GRENHA, V.; MACEDO, M. V.; MONTEIRO, R. F. Predação de sementes de *Allagoptera arenaria* (Gomes) O'Kuntze (Arecaceae) por *Pachymers nucleorum* Fabricius (Coleoptera, Chrysomelida, Bruchinae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 52, n. 1, p. 50-56. 2008.

HAY, J. D.; BIZERRIL, M. X.; CALOURO, A. M.; COSTA, E. M. N.; FERREIRA, A. A., GASTAL, M. L. A.; GOES JUNIOR, C. D.; MANZAN, D. J.; MARTINS, C. R.; MONTEIRO, J. M. G.; OLIVEIRA, S. A.; RODRIGUES, M. C. M; SEYFFARTH, J. A. S.; WALTER, B. M. T. Comparação do padrão de distribuição espacial em escalas diferentes de espécies nativas do cerrado, em Brasília, DF. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, n. 3, p. 341-347. 2000.

HEAT, R. Hidrologia Basica de Aguas Subterraneas. **United States Geological Survey Water Supply Paper 2220**. 1983.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Interações ecológicas entre as macrófitas aquáticas flutuantes *Eichhornia crassipes* *Pistia stratiotes*. **Hoehnea**, v. 32, n. 3, p. 445-452. 2005.

HICKMAN, C. P. Principios Integrados de Zoologia. Rio de Janeiro: **Editora Guanabara Koogan**, 2009.

HOLTZ, A. M.; OLIVEIRA, H. G.; PALLINI, A.; VENZON, M.; ZANUNCIO, J. C.; OLIVEIRA, C. L.; MARINHO, J. S.; ROSADO, M. C. Desempenho de *Thyriniteina arnobia* Stoll (Lepidoptera: Geometridae) em eucalipto e goiaba: o hospedeiro nativo não é um bom hospedeiro? **Neotropical Entomology**, v. 32, n. 3, p. 427-431. 2003.

JACQUEMYN, H.; MICHEANEAU, C.; ROBERTS, D. L.; PAILLER, T. Elevational gradients of species diversity, breeding system and a floral traits of orchid species on Réunion Island. **Journal of Biogeography**, v. 32, p. 1751-1761. 2005.

JENKINS, C. N.; PIMM, S. L.; JOPPA, L. N. Global patterns of terrestrial vertebrate diversity and conservation, **PNAS**, p. E2602-E2610. 2013.

JENNERJAHN, T. C. Biogeochemical response of tropical coastal system to present and past environmental change. **Earth-Science Reviews**, v. 114, p. 19-41. 2012.

JETZ, W.; THOMAS, G. H.; JOY, J. B.; HARTMANN, K.; MOOERS, A. O. The global diversity of birds in space and time. **Nature**, v. 491, p. 443-448. 2012.

JOHNSON, S. D. Batesian mimicry in the non-rewarding orchid *Disa pulchra*, and its consequences for pollinator behaviour. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 71, p. 119-132. 2000.

KÜHL, A. S.; PUPIN, B. Z.; ILARIO, V. E.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. Uso e aporte de serrapilheira de uma floresta Ombrófila Densa em quatro estágios sucessionais como indicador de restauração florestal na cidade de Sete Barras-SP. **Anais do 4º Simpósio de Tecnologia em Meio Ambiente e Recursos Hídricos**, Jahu-SP, p. 183-192. 2012.

LATHAM, R. E.; RICKLEFS, E. R. Global pattern of tree richness in moist forest: energy-diversity theory does not account for variation in species richness. **Oikos**, v. 67, n. 2, p. 325-333. 1993.

LERCARI, D.; HORTA, S; MARTÍNEZ, G.; CALLIARI, D.; BERGAMINO, L. A food web analysis of the Río de La Plata estuary and adjacent shelf ecosystem: trofic structure, biomass flows, and the role of fisheries. **Hydrobiology**, v. 742, p. 39-58. 2015.

LIMA, K. B.; MARTINS, M. A.; FREITAS, M. S. M.; OLIVARES, F. L. Fungos micorrízicos arbusculares, bactérias diazotróficas e adubação fosfatada em mudas de mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 932-940. 2011.

LOPES, J. P.; SIQUEIRA, K. B.; OLIVEIRA, L. C. F.; BRITO, J. T. M. Análise da predação de *Notonecta* sp. sobre juvenis de tilápia, variedade "QAAT 1". **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 2, n. 2, p. 46-51. 2007.

MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n.12, p.1161-1170. 2005.

MAUÉS, M. M.; OLIVEIRA, P. E. A. M.; KANASHIRO, M. Pollination biology in *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. (Bignoniaceae) at the “Floresta Nacional do Tapajós”, Central Amazon, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 31, n. 3, p. 517-527. 2008.

MAYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G.A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 399, p. 258-261.

MEDEIROS, M. A.; SUJII, E. R.; RASI, G. C.; LIZ, R. S.; MORAIS, H. C. Padrão de ovoposição e tabela de vida da traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepodoptera, Gelechiidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, n. 3, p.452-456. 2009.

MELO, E. P.; FERNANDES, M. G.; DEGRANDE, P. E.; CESSA, R. M. A.; SALOMÃO, J. L.; NOGUEIRA, R., F. Distribuição espacial de plantas infestadas por *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) na cultura do milho. **Neotropical Entomology**, v. 35, n. 5, p. 689-697. 2006.

MIRANDA, J.C. 2009. Sucessão ecológica: conceitos, modelos e perspectivas. **Revista de Saúde e Biologia**, v. 4, n. 1, p. 31-37. 2009.

MOLIN, L. C. B. Desmistificando o aquecimento global. **Intergeo**, v. 5, p. 13-20. 2007.

MONTEIRO, F. A.; RAMOS, A. K. B.; CARVALHO, D. D.; ABREU, J. B. R.; DAIUB, J. A. S; SILVA, J. E. P.; NATALE, W. Cultivo DE *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Mandaru em solução nutritiva com omissão de macronutrientes. **Scientia Agricola**, v.1, n. 1, p. 135-141. 1995.

MONTEIRO, R. F. Coloração críptica e padrão de uso de plantas hospedeiras em larvas de duas espécies mirmecófilas de *Rekoa* Kaye (Lepidoptera, Lycaenidae), p. 259-280. In LEWINSOHN, T. M.; BARBEITOS, M. S. (eds.). **Ecologia e Comportamento de Insetos**. Série Oecologia Brasiliensis, v. VIII. PPGE-UFRJ, Rio de Janeiro. 2000.

MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, V. 38, n. 10, p.113-1137. 2003.

MOREIRA, P. M. Reprodução cooperativa e paternidade extra-par em *Neothraupis fasciata*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília. 2014.

MORENO, M. I. C; SCHIAVINI, I. Relação entre a vegetação e solo em um gradiente florestal na Estação Ecológica do Panga, Uberlândia, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 4 (suplemento), p. 537-544. 2001.

MOURÃO, A. P. M.; PANIZZI, A. R. Diapausa e diferentes formas sazonais em *Euschistus heros* (Fabr.) (Hemiptera: Pentatomidae) no norte do Paraná. **Anais da Sociedade Entomológica Brasileira**, v.29, n. 2, p.205-219. 2000.

NASCIMENTO, E. A.; DEL-CLARO, K. Ant visitation to extrafloral nectaries decreases herbivory and increases fruit set in *Chamaecrista debilis* (Fabaceae) in a Neotropical savanna. **Flora**, v. 205, p. 754-756. 2010.

ODUM, E. P. Ecologia. Rio de Janeiro: **Editora Guanabara Koogan**, 1988.

ODUM, E. P. Trofic structure nd productivity of *Silver Srings*, Florida. **Ecological Monographs**, v. 27, p. 55-112. 1957

OIKAWA, I. T.; CARLI NETO, L. Valoração econômica dos serviços ambientais do Parque Bacacheri, Curitiba, PR. Trabalho de conclusão de curso de graduação do Curso Superior de Tecnologia em Processos Ambientais, Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba. 2012.

OLIVEIRA, M. S. P.; COUTTURIER, G.; BESERRA, P. Biologia da polinização da palmeira Tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) em Belém, Pará, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 17, n. 3, p. 343-353. 2003.

PAULA, A.; SILVA, A. F.; MARCO Jr. P.; SANTOS, F. A. M; SOUZA, A. L. Sucessão ecológica da vegetação arbórea em uma Floresta Estacional Semidecidual, Viçosa, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, n. 3, p. 407-423. 2004.

PEÑA, M. L. P.; MARQUES, R.; JAHNEL, M. C.; ANJOS, A. Respiração Microbiana como indicador da qualidade do solo em ecossistema florestal. **Floresta**, v. 35, n. 1, p. 117-127. 2005.

PEREIRA, A. I. A.; ANDRADE, G. S.; ZANUNCIO, J.C.; PENTEADO-DIAS, A.M.; SERRÃO, J.E. A brief observation of morphological and behavioral similarities between the Ichneumoidae wasp *Cryptanura* sp. And its presumed mimic, *Holymenia clavigera* (Heteroptera: Coreidae), in Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, n. 4, p. 903-909. 2013.

PINHA-RODRIGUES, F. C. M.; LOPES, B. M. Potencial alelopático de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth sobre sementes de *Tabebuia alba* (Cham.) Sandw. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 130-136. 2001.

PRADO, R. Reproductive behavior of *Eidmanacris coumbatai* Garcia (Orthopetera: Phalangopsidae). **Neotropical Entomology**, v. 34, n.4, p. 452-457. 2006.

PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. Biologia da Conservação. Londrina: **Editores Planta**. 2001.

REEVES, M.C.; WINSLOW, J.C.; RUNNING, S. W. Mapeando a produtividade seminal da vegetação de pastagens usando dados MODIS. I **Conferência Virtual sobre Produção Orgânica de Bovinos de Corte**, p.1-13. 2002. RIBEIRO, P. L. Insetos eusociais e o desafio para a ideia de seleção natural. **Revista da Biologia**, v.3, p. 6-8. 2009.

RICKLEFS, R. E. A Economia da Natureza. 6ª Ed. **Editores Guanabara Koogan**, Rio de Janeiro. 2010.

RODRIGUES, D. M.; SOUZA, C. R.; AGUIAR, R. W. S.; MELO, A. V.; SILVA, J. C.; OOTANI, M. A.; CRUZ, W. P. Tricomas conferem resistência contra herbivoria de *Cerotoma arcuata* em cultivares de soja. **Agroecossistemas**, v. 4, n. 2, p. 33-39. 2012.

SANTOS, E. M. Notas sobre predação de anuros em uma poça temporária no nordeste do Brasil. **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão**, n. 25, p. 77-82. 2009.

SANTOS, H.; LAMOSA, P.; COSTA, M. S. Extremófilos: microorganismos à prova de agressões ambientais extremas. **Boletim de Biotecnologia**, n. 69, p. 2-10. 2001.

SCHILLING, A. C.; BATISTA, J. L. F. Curva de acumulação de espécies e suficiência amostral em florestas tropicais. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 31, n. 1, p. 179-187. 2008.

SILLÉN-TULBERG, B. Higher survival of an aposematic than of a cryptic form of distasteful bug. **Oecologia**, v. 67, p. 411-415.

SILVA, P. P. G.; ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; CASTRO, A. A.; TEIXEIRA, T. C.; PAIXAO, J. S. Análise da sensibilidade da cultura do milho às mudanças climáticas empregando modelos de simulação: 1 – respostas às alterações na temperatura do ar. **XXX Congresso Nacional de Milho e Sorgo**. 2014.

SILVA, R. W. C.; PAULA, B. L. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. **Terra e Didática** v.5, n.1, p.42-49. 2009.

SIVERIO, F.; FELIPE, P. Comensalismo entre lagartos gigantes de El Hierro (*Gallotiasimonyi*) y gaviota patiamarilla (*Larus michahellis*) en el roque Chico de Salmor. **Boletim da Asociación de Herpetología Española**, v. 20, p. 40-44. 2009.

STRECK, N. A.; BOSCO, L.C.; MICHELON, S.; ROSA, H. T.; WALTER, L. C.; PAULA, G. M.; CAMERA, C. LAGO, I, MARCOLINI, E. Avaliação da respostas ao fotoperíodo em genótipos de arroz integral. **Bragantia**, v. 65, n.4, p. 533-541. 2006.

TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. Clareiras naturais e a riqueza de espécies pioneiras em uma floresta atlântica Montana. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, n. 2, p.251-261. 1999a.

TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. A regeneração de uma floresta tropical montana após corte e queima (São Paula, Brasil). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, n. 2, p.239-250. 1999b.

TABARELLI, M.; SANTOS, A. M. M. Uma breve descrição sobre a historia natural dos brejos nordestinos. p. 17-24. *In* PÔRTO, K. C.; CABRAL, J. P.; Tabarelli, M. Brejos de Altitude em Pernambuco e

Paraíba: História Natural, Ecologia e Conservação. Brasília, Ministério do Meio Ambiente. 2004.

TIRELLI, A. A.; ALVES, D. S.; CARVALHO, G. A.; SÂMIA, R. R.; BRUNA, S. S.; GUERREIRO, M. C. Efeito de frações tânicas sobre parâmetros biológicos e nutricionais de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 6, p. 1417-1424. 2010.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 135-152. 1997.

VARGAS, M. C. O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema socioambiental. **Ambiente e Sociedade**, v. 5, p. 109-134. 1999.

VOLTAN, R. B. Q.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. Variação na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.4, n.2, p.99-105. 1992.

WERNER, R. R. Mating behavior and hermaphroditism in coral reef fishes: the diverse forms of sexuality found among tropical marine fishes can be viewed as adaptations to their equally diverse mating systems. **American Scientist**, v. 72, n. 2, p. 128-136. 1984.