

ESTUDO DE CASO

Como Nos Tornamos uma Espécie Tão Poderosa Tão Rapidamente?

Assim como inúmeras espécies, nós, seres humanos, sobrevivemos e prosperamos graças a certas características que nos permitem adaptar e modificar o meio ambiente para aumentar nossas chances de sobrevivência. Quais são essas características adaptativas?

Em primeiro lugar, considere as características que não temos. Faltam-nos força, velocidade e agilidade excepcionais. Não dispomos de garras ou presas nem de casco ou armadura para proteger o corpo.

Nossos sentidos são pouco notáveis. Vemos apenas a luz visível – uma pequena fração do espectro de radiação eletromagnética que banha a Terra. Não conseguimos ver a radiação infravermelha, ao contrário da cobra cascavel, ou a

luz ultravioleta, que guia alguns insetos em direção às suas flores prediletas.

Não conseguimos enxergar longe como uma águia ou no escuro como algumas corujas e outras criaturas noturnas. Tampouco conseguimos ouvir sons de alta frequência que ajudam os morcegos a se orientarem na escuridão. Nossos ouvidos também não conseguem captar sons de baixa frequência, como o canto das baleias, entoadado enquanto elas deslizam pelos oceanos. Nosso faro não é tão aguçado quanto o de um cachorro ou um lobo. Diante disso, nossos poderes físicos e sensoriais são lamentáveis.

No entanto, os seres humanos sobreviveram e prosperaram em menos de um átimo dos 3,7 bilhões de anos de existência de vida na Terra. Os analistas atribuem nosso sucesso a três adaptações: *polegares fortes que se opõem aos outros dedos*, permitindo o movimento de agarrar objetos e utilizar ferramentas melhor que as outras poucas espécies que possuem polegares, a capacidade de *andar ereto* e um *cérebro complexo* (Figura 4.1). Essas adaptações nos ajudaram a desenvolver tecnologias que ampliam nossos sentidos limitados, armas e dispositivos de proteção.

Em um curto espaço de tempo, desenvolvemos inúmeras tecnologias poderosas para dominar a maior parte dos sistemas que sustentam a vida na Terra e a produtividade primária líquida, a fim de atender nossas necessidades básicas e desejos crescentes. Denominamos a nós mesmos *Homo sapiens sapiens* – a espécie duplamente sábia. Se continuarmos degradando o sistema que sustenta a nossa vida e a de outras espécies, alguns dizem que deveríamos ser chamados de *Homo*

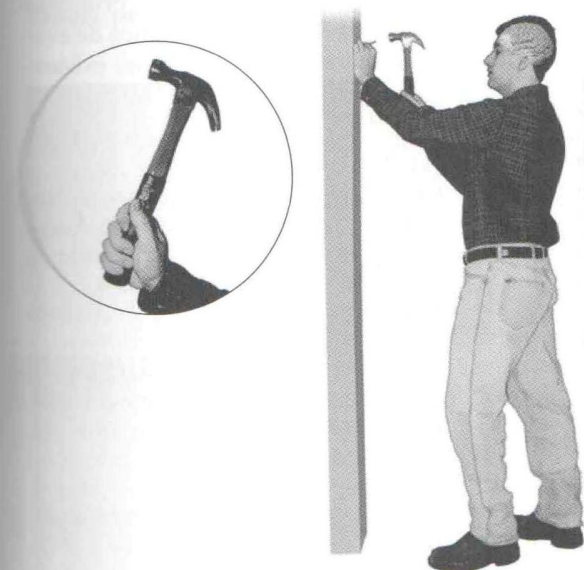


Figura 4.1 Os seres humanos prosperaram como espécie principalmente em razão de seus complexos e fortes polegares que se opõem aos outros dedos (esquerda), sua capacidade de caminhar ereto (direita) e seu complexo cérebro.

ignoramus. No decorrer deste século, provavelmente saberemos qual desses nomes é o mais apropriado para a espécie humana.

A boa notícia é que podemos mudar nossa trajetória. Podemos aprender a trabalhar em harmonia com a natureza, entendendo e copiando a maneira como ela sustentou a si mesma durante bilhões de anos, apesar das grandes mudanças nas condições ambientais. Isso significa atentarmos ao apelo de Aldo Leopold para sermos cidadãos e não dominadores da Terra.

Para tanto, precisamos compreender os elementos básicos da evolução biológica, inclusive seus efeitos sobre a biodiversidade à medida que as espécies vêm e vão, e novas surgem para substituí-las. Eis a essência deste capítulo. Cada espécie que existe hoje representa uma longa cadeia de mudanças genéticas nas populações em resposta às novas condições ambientais. Cada espécie exerce um papel ecológico singular (chamado *nicho*) nas comunidades e ecossistemas da Terra.

Existe uma grandeza nessa visão de vida... que, enquanto este planeta passa por seus ciclos... infinitas formas, das mais bonitas e maravilhosas, evoluíram e estão evoluindo.

CHARLES DARWIN

Este capítulo descreve como os cientistas acreditam que a vida na Terra tenha surgido e resultado na diversidade de espécies que encontramos hoje. Serão discutidas as seguintes questões:

- Como os cientistas explicam o desenvolvimento da vida na Terra?
- O que é a evolução biológica por seleção natural e como ela levou à atual diversidade de organismos existentes no planeta?
- O que é nicho ecológico e como ele ajuda uma população a se adaptar a novas condições ambientais?
- Como a extinção de algumas espécies e a formação de outras afetam a biodiversidade?
- Qual é o futuro da evolução e que papel devemos exercer nesse futuro?

IDÉIAS PRINCIPAIS

- Evidências químicas, geológicas e fósseis indicam que a vida na Terra desenvolveu-se como resultado de cerca de 1 bilhão de anos de evolução química e 3,7 bilhões de anos de evolução biológica.
- Populações podem evoluir quando os genes mudam ou sofrem mutação, dando a alguns indivíduos características genéticas que melhoram sua capacidade de sobreviver e de produzir descendentes com essas características (seleção natural).
- Cada espécie no ecossistema exerce uma função única, chamada de nicho ecológico.
- Conforme as condições ambientais mudam, o equilíbrio entre a formação de novas espécies (especiação) e o desaparecimento ou extinção de outras determinam a biodiversidade da Terra.
- As atividades humanas reduzem a biodiversidade quando acarretam a extinção prematura de espécies e destroem ou degradam habitats que tradicionalmente serviam como centro para o desenvolvimento de novas espécies.
- A engenharia genética nos permite combinar genes de diferentes organismos – um processo de grande promessa e que levanta uma série de questões legais, éticas e ambientais.

4.1 ORIGENS DA VIDA

Desenvolvimento da Vida na Terra Primitiva

Evidências científicas indicam que a vida na Terra é resultado de cerca de 1 bilhão de anos de evolução química para formar as primeiras células, seguidos de 3,7 bilhões de anos de evolução biológica para formar as espécies existentes hoje no planeta.

Como a vida na Terra evoluiu até a atual e incrível diversidade de espécies? Não sabemos a resposta para esse tipo de pergunta. Mas muitas evidências sugerem que a vida no planeta desenvolveu-se em duas fases ao longo dos últimos 4,6 bilhões a 4,7 bilhões de anos.

A primeira fase compreende a *evolução química* das moléculas orgânicas, biopolímeros e sistemas de reações químicas necessários para formar as primeiras células. Essa fase estendeu-se por aproximadamente 1 bilhão de anos. As evidências vêm de análises químicas e medições de elementos radioativos em rochas e fósseis primitivos. Os químicos também realizaram experimentos laboratoriais que mostraram como simples compostos inorgânicos da atmosfera

primitiva da Terra produziram aminoácidos, moléculas orgânicas, proteínas, carboidratos e outros necessários para a vida.

Evidências de fósseis indicam que a evolução biológica começou com organismos simples para protistas unicelulares e depois para organismos pluricelulares.

Como Saber Quão Antiga é a Vida na Terra? Viveram no Passado

Nosso conhecimento sobre a história da vida provém de fósseis, que são restos de organismos que viveram no passado.

A maior parte do conhecimento sobre a vida na Terra vem de fósseis mineralizados ou preservados em rochas, fósseis de conchas, fósseis de ossos, fósseis de plantas e fósseis de animais. A datação dos fósseis é feita por métodos físicos dos antigos, como a datação por carbono-14, e a datação por métodos modernos, como a datação por urânio-235.

Apesar de sua importância, a vida na Terra é irregular e incompleta. Muitas espécies não deixaram fósseis e outras foram destruídas por eventos catastróficos. Acredita-se que os fósseis representam apenas uma pequena fração da vida que já existiram.

Evidências de fósseis também vêm da análise de amostras de rochas e fósseis primitivos.



primitiva da Terra podem ter reagido para produzir aminoácidos, açúcares simples e outras moléculas orgânicas utilizadas como base de proteínas, carboidratos complexos, RNA e DNA necessários para a vida.

Evidências de fósseis e outros elementos indicam que a evolução química foi seguida de uma evolução biológica, de bactérias unicelulares para protistas, plantas, fungos e animais pluricelulares.

Como Saber Quais Organismos Viveram no Passado?

Nosso conhecimento sobre as vidas passadas provém de fósseis, análise química, perfuração de núcleos de gelo enterrado e análise de DNA.

A maior parte do que sabemos sobre a história da vida na Terra vem dos fósseis: réplicas mineralizadas ou petrificadas de esqueletos, ossos, dentes, conchas, folhas e sementes, ou impressões desses itens. Os fósseis oferecem evidência física dos antigos organismos e revelam a aparência de sua estrutura interna (Figura 4.2).

Apesar de sua importância, o registro fóssil é irregular e incompleto. Algumas formas de vida não deixaram fósseis, alguns deles se decomposaram e outros ainda não foram encontrados. Acredita-se que os fósseis encontrados até hoje representam apenas 1% de todas as espécies que já existiram.

Evidências sobre a vida primitiva da Terra também vêm da análise química e medições da meia-vida de elementos radioativos em rochas e fósseis primitivos. Os cientistas perfuram os

núcleos de gelo glacial e examinam os tipos de vida encontrados nas diferentes camadas e, além disso, comparam o DNA de organismos do passado com os de hoje.

4.2 EVOLUÇÃO E ADAPTAÇÃO

Evolução Biológica

Evolução biológica é a alteração na composição genética de uma população ao longo do tempo.

De acordo com evidências científicas, populações de organismos se adaptam a mudanças nas condições ambientais por meio da **evolução biológica**, conhecida simplesmente como **evolução**. A evolução compreende a mudança na composição genética de uma população ao longo de sucessivas gerações. *Populações – não indivíduos – evoluem tornando-se geneticamente diferentes.*

Segundo a **teoria da evolução**, todas as espécies são descendentes de espécies antigas, ancestrais. Em outras palavras, a vida vem da vida. Essa teoria científica amplamente aceita explica como a vida tem mudado durante os últimos 3,7 bilhões de anos (Figura 4.3) e por que é tão diversificada hoje. Religiosos e outros grupos podem oferecer razões diferentes, mas a evolução é a explicação científica aceita.

Os biólogos utilizam o termo **microevolução** para descrever pequenas mudanças genéticas que ocorrem em uma população. Empregam o termo **macroevolução** para designar mudanças evolutivas de larga escala e de longo prazo, por meio das quais novas espécies surgem de espécies ancestrais e outras se perdem por causa da extinção.

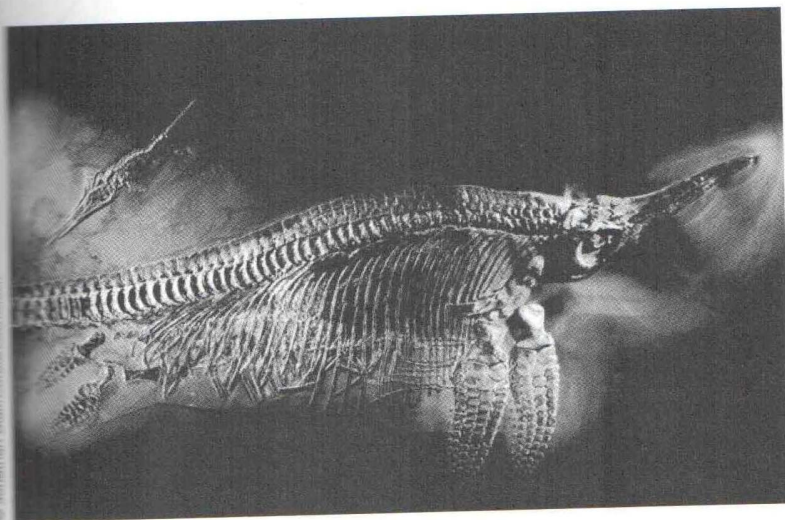


Figura 4.2 Esqueleto fossilizado de um ictiossauro, réptil marinho que viveu há mais de 200 milhões de anos.

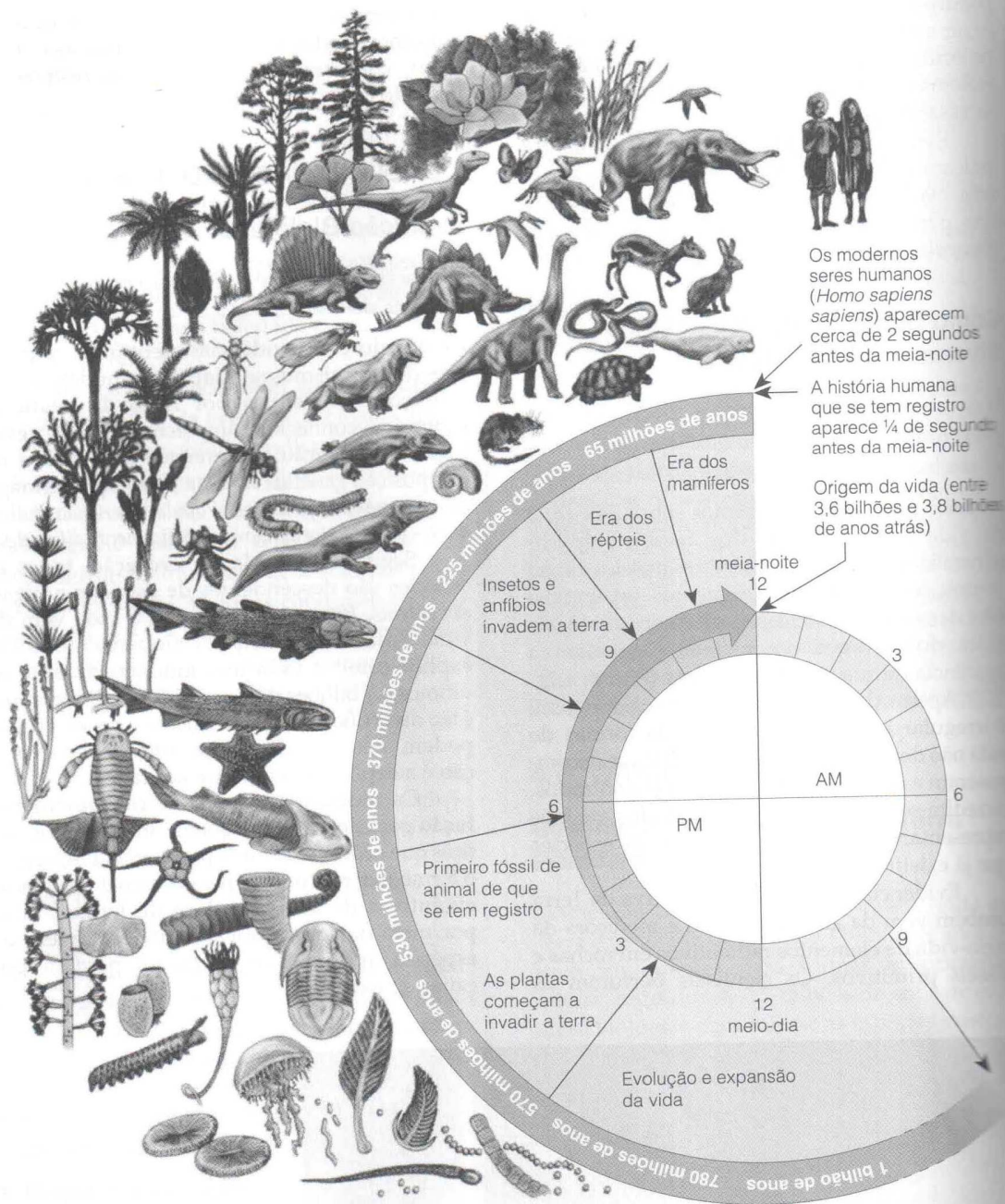


Figura 4.3 Capital natural: panorama bastante simplificado da evolução biológica da vida na Terra, precedida em cerca de 1 bilhão de anos pela evolução química. Os microrganismos (na maior parte, bactérias) que viviam na água dominaram o primeiro período da evolução biológica, entre aproximadamente 3,7 bilhões e 1 bilhão de anos atrás. As plantas e os animais evoluíram primeiro nos mares. Evidências recentes de fósseis e de DNA sugerem que as plantas começaram a invadir a terra há cerca de 780 milhões de anos, já os animais passaram a viver na terra há aproximadamente 370 milhões de anos. Os humanos entraram em cena há bem pouco tempo. Existimos há menos de um piscar de olhos da história de aproximadamente 3,7 bilhões de anos de evolução biológica. Apesar de novos no ambiente, nós, humanos, dominamos a maior parte da terra e agora temos o poder de causar a extinção prematura de muitas espécies que estão conosco como passageiros no planeta enquanto ele viaja pelo universo.

Como Funciona a Microevolução?

O conjunto de genes de uma população sofre alterações com o passar do tempo à medida que mudanças benéficas ou mutações em suas moléculas de DNA são transmitidas aos seus descendentes.

O conjunto de genes de uma população consiste em todos os genes (Figura 2.3) em seus indivíduos. A *microevolução* é a mudança no conjunto de genes de uma população ao longo do tempo.

A primeira etapa da microevolução é o desenvolvimento da *variabilidade genética* em uma população. Essa variabilidade se origina de **mutações**: mudanças aleatórias na estrutura ou no número de moléculas de DNA na célula. As mutações podem ocorrer de duas formas: 1) o DNA pode ser exposto a agentes externos, como radioatividade, raios X e elementos químicos naturais ou feitos pelo homem (chamados *mutagênicos*); 2) por vezes, acontecem erros aleatórios nas instruções genéticas codificadas, transmitidas quando as moléculas de DNA são copiadas cada vez que uma célula se divide e quando um organismo se reproduz.

As mutações podem ocorrer em quaisquer células, mas apenas aquelas que acontecem nas células reprodutivas são transmitidas para os descendentes. Apesar de algumas mutações serem inofensivas, a maioria é letal. *Eventualmente*, uma mutação que resulta em características genéticas benéficas pode proporcionar a esse indivíduo e a seus descendentes melhores chances de sobrevivência e reprodução, sob condições ambientais existentes ou novas.

Seleção Natural

Alguns membros de uma população podem apresentar características genéticas que melhoraram sua capacidade de sobreviver e produzir descendentes com as mesmas características.

A **seleção natural** ocorre quando alguns indivíduos de uma população apresentavam características determinadas geneticamente que aumentam suas chances de sobrevivência e sua capacidade de produzir descendentes com as mesmas características.

Há três condições necessárias para a evolução de uma população por seleção natural. *Primeira*, deve haver *variabilidade genética* para uma característica na população. *Segunda*, essa

característica deve ser *hereditária* – isto é, capaz de ser transmitida de geração a geração. *Terceira*, deve levar a uma **reprodução diferencial** – ou seja, permitir que os indivíduos com a característica deixem mais descendentes que os outros membros da população. Perceba que a seleção natural age sobre indivíduos, mas a evolução acontece em populações.

Uma **adaptação**, ou *característica adaptativa*, é qualquer característica hereditária que possibilita ao organismo sobreviver e se reproduzir sob condições ambientais predominantes. As *adaptações estruturais* incluem *coloração* (permite que mais indivíduos se escondam de predadores ou se aproximem da presa), *mimetismo* (asemellar-se a uma espécie venenosa ou perigosa), *cobertura protetora* (casco, pele grossa, carapaça ou chifres) e *mecanismos para agarrar objetos* (mãos cujos polegares se opõem aos outros dedos; ver a Figura 4.1). As *adaptações fisiológicas* incluem a capacidade de hibernar durante a estação fria e expelir elementos químicos que envenenam ou repelem a presa. As *adaptações comportamentais* compreendem a capacidade de voar para um clima mais quente durante o inverno e inúmeras interações entre as espécies.

Diante de mudanças nas condições ambientais, há três possibilidades para uma determinada população: adaptar-se às novas condições por meio da seleção natural de um crescente número de indivíduos da população; migrar (se possível) para uma área com condições mais favoráveis ou entrar em extinção.

O processo da microevolução pode ser resumido da seguinte maneira: *os genes sofrem mutação, os indivíduos são selecionados e as populações evoluem.*

Co-Evolução: Uma Corrida Armamentista Biológica

As espécies que interagem podem entrar em uma disputa genética contínua na qual uma consegue uma vantagem genética temporária sobre a outra.

Alguns biólogos sugerem que as *interações entre as espécies* podem resultar na microevolução das populações envolvidas. Segundo essa hipótese, quando populações de duas espécies diferentes interagem por um longo período, alterações no conjunto de genes de uma espécie podem acarretar a mudança no conjunto de genes da outra. Esse processo é denominado **co-evolução**. Nesse intercâmbio evolucionário, cada espécie entra em uma corrida genética para

produzir o maior número de indivíduos capazes de sobreviver.

Considere as interações entre os morcegos e as mariposas. Os morcegos gostam de comer mariposas, eles caçam à noite e usam a ecolocalização para navegar e localizar a presa. Para tanto, emitem pulsos sonoros de frequência e intensidade extremamente altas. Eles analisam os ecos que retornam para criar uma "imagem" sônica da presa. (Copiamos essa tecnologia natural com o sonar, utilizado para detectar submarinos, baleias e cardumes de peixes.)

Em contrapartida, algumas espécies de mariposas desenvolveram ouvidos sensíveis às frequências sonoras utilizadas pelos morcegos. Ao ouvir tais frequências, elas tentam escapar caindo no solo ou voando de forma evasiva.

Algumas espécies de morcegos desenvolveram formas de derrubar essa defesa alterando a frequência de seus pulsos sonoros. Algumas espécies de mariposas, por sua vez, desenvolveram seus próprios bloqueadores de frequência para enganar os sistema de ecolocalização dos morcegos (nós também aprendemos a enganar o radar). Para se adaptarem a isso, algumas espécies de morcegos desligaram seu sistema de ecolocalização e passaram a utilizar os bloqueadores das mariposas para localizar a presa.

Como podemos observar, cada espécie segue refinando suas adaptações nessa contínua competição co-evolucionária. A co-evolução é como uma corrida armamentista. Algumas vezes os predadores saem na frente; em outras, a presa consegue levar vantagem.

4.3 NICHOS ECOLÓGICOS E ADAPTAÇÃO

Nichos Ecológicos

Cada espécie em um ecossistema tem função e meio de vida específico.

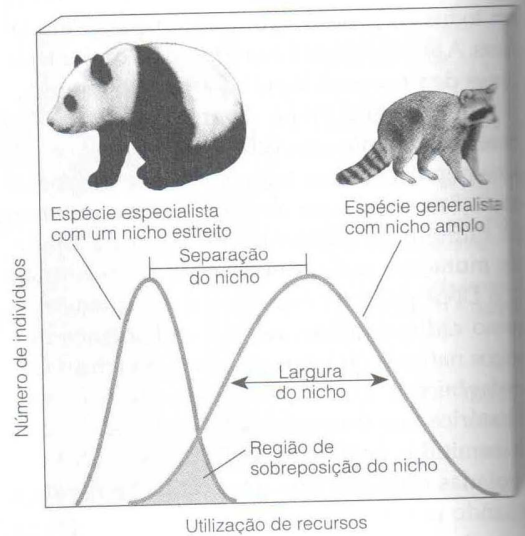


Figura 4.4 Sobreposição dos nichos de duas espécies diferentes: uma especialista e outra generalista. Na área de sobreposição, as duas espécies competem por um ou mais dos mesmos recursos. Consequentemente, cada espécie consegue ocupar apenas uma parte do seu nicho fundamental; a parte ocupada é seu nicho realizado. As espécies generalistas têm nicho amplo (direita) e as especialistas, nicho estreito (esquerda).

