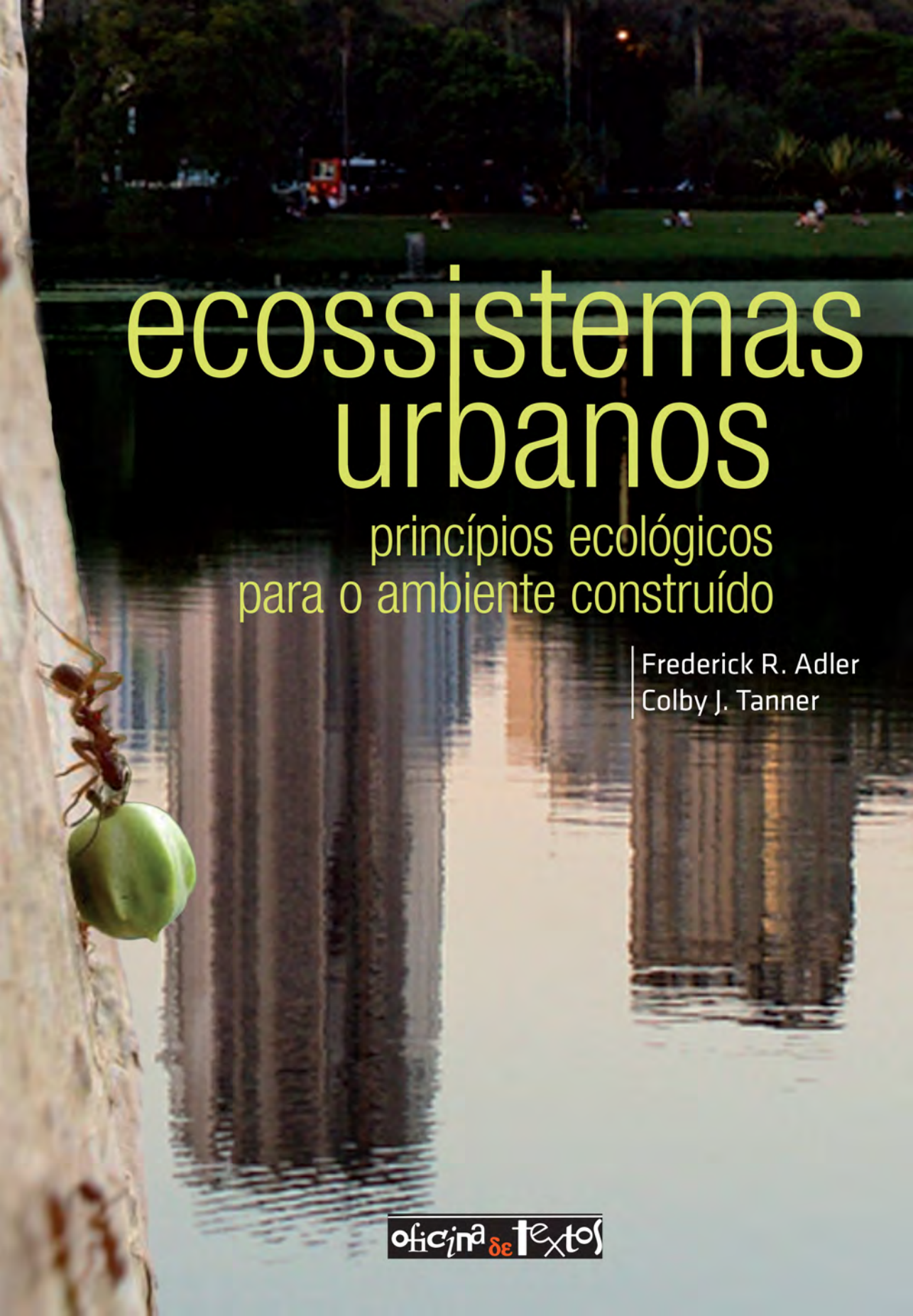


ecossistemas urbanos

princípios ecológicos para o ambiente construído

Frederick R. Adler
Colby J. Tanner

oficina de textos

ecossistemas urbanos

princípios ecológicos para o ambiente construído

Frederick R. Adler
Colby J. Tanner

tradução | Maria Beatriz de Medina

oficina de textos

©Copyright original 2013 Cambridge University Press
©Copyright da tradução em português 2015 Oficina de Textos

Grafia atualizada conforme o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, em vigor no Brasil desde 2009.

Conselho editorial Cylon Gonçalves da Silva; Doris C. C. K. Kowaltowski; José Galizia Tundisi; Luis Enrique Sánchez; Paulo Helene; Rozely Ferreira dos Santos; Teresa Gallotti Florenzano

Capa Malu Vallim
Diagramação Casa Editorial Maluhy Co.
Preparação de figuras e projeto gráfico Maria Lucia Rigon
Preparação de texto Carolina A. Messias
Revisão de texto Pâmela de Moura Falarara
Tradução Maria Beatriz de Medina
Impressão e acabamento Prol Editora Gráfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Adler, Frederick R.
Ecossistemas urbanos : princípios ecológicos para o ambiente construído / Frederick R. Adler, Colby J. Tanner ; tradução Maria Beatriz de Medina. -- São Paulo : Oficina de Textos, 2015.
Título original: Urban ecosystems : ecological principles for the built environment.

ISBN 978-85-7975-165-3

1. Ecologia urbana (Biologia) 2. Ecologia urbana (Sociologia) I. Tanner, Colby J.. II. Título.

15-01000 CDD-307.76

Índices para catálogo sistemático:
1. Ecossistemas urbanos : Sociologia urbana 307.76

Todos os direitos reservados à **Editora Oficina de Textos**
Rua Cubatão, 959
CEP 04013-043 São Paulo SP
tel. (11) 3085-7933 (11) 3083-0849
www.ofitexto.com.br atend@ofitexto.com.br

Prefácio

Este livro descreve os desafios e oportunidades que os ambientes urbanos apresentam às plantas e animais que habitam as cidades e o modo como esses organismos e ecossistemas inteiros reagem. Os contornos gerais da vida são sempre os mesmos: necessidade de encontrar recursos, de evitar ser morto ou comido e de reproduzir-se com sucesso. Os ecologistas estudam há muito tempo como esses fatores determinam quais espécies vivem num determinado lugar e como elas interagem entre si e com o ecossistema. Mas só recentemente o foco da ciência ecológica se voltou para a vida em ambientes urbanos.

A ciência da Ecologia se desenvolveu no final do século XIX por meio da integração de três avanços: a História Natural detalhada das espécies e dos seus hábitos, a ênfase de Darwin na interação entre espécies e na mudança destas no decorrer do tempo e o melhor entendimento da fisiologia de plantas e animais. O novo campo lutou para definir a verdadeira natureza do seu objeto de estudo: as comunidades de plantas e animais que coexistem e interagem num só lugar e ao mesmo tempo. Cada comunidade seria um todo bem entretecido ou um mero agrupamento frouxo? Que fatores básicos determinam o funcionamento das comunidades?

Diante dessas perguntas fundamentais, os ecologistas adiaram o pensamento sobre a imensa desorganização que as cidades causam nos processos naturais até que esses mesmos processos pudessem ser mais bem compreendidos. Conforme essa compreensão surgia, os ecologistas começaram a dar atenção às cidades. A prática moderna da Ecologia Urbana nasceu de várias fontes distintas. Na Europa do século XIX, o estudo das plantas em jardins urbanos, cemitérios e canteiros de obras altamente perturbados constituiu a base das informações de História Natural. Esses estudos foram os primeiros a distinguir espécies nativas de introduzidas e mostrar que o clima e a poluição urbanos determinam quais espécies vegetais persistem.

Nos Estados Unidos, os primeiros estudos se concentraram na interação entre os seres humanos e a natureza. Contemporâneo dos primeiros estudos sobre plantas europeias, George Perkins Marsh enfatizou

o efeito potencialmente catastrófico dos seres humanos sobre o meio ambiente. Diante do possível colapso ambiental, a expressão Ecologia Urbana foi vinculada aos desafios ecológicos por trás do planejamento urbano. Um grupo de sociólogos que costuma ser chamado de Escola de Chicago utilizou ideias ecológicas relativas a comunidades, competição e disseminação espacial para descrever como os seres humanos e as suas instituições mudam com o passar do tempo. Num ataque ao planejamento urbano tradicional, Jane Jacobs enfatizou a natureza ecológica das cidades e o perigo de ignorar como elementos diferentes interagem.

A avaliação mais puramente ecológica das comunidades vegetais e animais e a inter-relação entre pensamento ecológico e ciência social encontraram uma possível síntese no estabelecimento de dois sítios de pesquisa ecológica a longo prazo nas cidades de Phoenix e Baltimore, nos Estados Unidos. Esses sítios serão monitorados durante décadas para fornecer dados básicos sobre o funcionamento ecológico a estudos paralelos em florestas, pradarias e charcos não urbanos. Além de oferecerem dados ecológicos fundamentais, esses estudos estimularam a tentativa de criar uma nova síntese que vincule os elementos humano e não humano num único arcabouço.

Organização do livro

Este livro é estruturado como uma peça de teatro em cinco atos, cada um com várias cenas.

- O primeiro ato apresenta o cenário, o ambiente construído, e os protagonistas, moradores não humanos do mundo urbano;
- O segundo ato apresenta a tensão básica entre consequências intencionais e não intencionais;
- No terceiro ato a ação se intensifica, com o desenvolvimento dos fatores abióticos, como nutrientes e tempo local, que criam os desafios enfrentados pelos protagonistas;
- O quarto ato é o clímax, no qual descobrimos quais protagonistas acabam bem, quais acabam mal e por quê;
- O quinto ato é a solução que vê os seres humanos como organismos urbanos e nos desafia a pensar aonde vamos a partir daqui.

Para alguns personagens, como o pombo-comum, podemos considerar que a história é uma comédia. Tudo acaba bem, e os pombos comemoram uma nova ordem. Para outros, como o tordo-pintado, é uma tragédia em que o seu mundo desaparece. Para os seres humanos urbanos, não é comédia nem tragédia, mas um drama épico no quintal

dos fundos. Nada se resolve, porque a história continua e até se acelera, mas esperamos sair dela mais sábios, mais observadores e mais capazes de ver o mundo e nos ver.

Como usar este livro

Este livro se baseia num curso de um semestre da Universidade de Utah e é projetado para ser lido diretamente ou usado em sala de aula. Em sala, em vez de apresentar as informações em aulas expositivas num único trimestre ou semestre, recomenda-se misturar aulas com discussões e apresentar alguns tópicos de forma menos detalhada em sala de aula. Centralizar a discussão da turma em artigos curtos fundamentados nos textos destacados no final de cada capítulo dá aos alunos a oportunidade de se concentrar em ideias próprias e trocá-las. A associação de atividades em sala a aulas de campo, com base na disponibilidade de sítios e especialistas locais, mostra que a Ecologia discutida neste livro está por toda parte. Por exemplo, cursos d'água e reservatórios ilustram a transformação do movimento urbano da água; parques, praças e campos abandonados dão destaque aos fatores que controlam a biodiversidade urbana e a distribuição de espécies invasoras; e o próprio *campus* universitário permite uma visão geral dos tipos de terra urbana e do seu manejo.

Em termos intelectuais, a meta central deste livro é apresentar um arcabouço de princípios fundamentais para pensar sobre os processos ecológicos em ambientes urbanos. Por essa razão, só apresentamos resultados estatisticamente significativos e não incluímos as barras de erro que, naturalmente, podem ser encontradas nas referências primárias. Mas, de forma mais imediata, buscamos conscientizar os leitores de que os ecossistemas urbanos são realmente ecossistemas e que processos fundamentais da vida acontecem à nossa volta. Para a maioria, a cidade consiste em edificações, ruas e seres humanos que as usam, ignorando o modo como os moradores urbanos interagem com a ecologia. Os moradores urbanos, geralmente sem querer, configuram a ecologia à sua volta, enquanto ela configura a vida dos seres humanos urbanos, tendo eles consciência disso ou não.

Enquanto trabalhávamos neste livro, voltamos a Salt Lake City e, quando o avião sobrevoava em baixa altitude o Salt Lake Valley, olhamos pela janela as áreas periurbanas residenciais plantadas com árvores que não estariam lá cem anos atrás; o retificado e poluído rio Jordan ladeado

por uma tira verde estreita e ameaçada; os armazéns com seus terrenos abandonados e cheios de mato; e os campos esportivos cobertos de grama não nativa capaz de tolerar o pisoteio constante, antes de pousar na extensão pavimentada do aeroporto. Esses meios ambientes, tão diferentes entre si e tão diferentes da estepe coberta de artemísia do sopé dos morros circundantes, estavam amontoados em contraste próximo e adjacente. Como seriam diferentes do ponto de vista de um pássaro ou da semente flutuante de uma planta! Embora cheio de gráficos e tabelas de origem bastante humana, esperamos que este livro seja um caminho para ver o mundo urbano com olhos diferentes.

Sumário

1 **Os ecossistemas urbanos e a ciência da Ecologia** | 9

1.1 Ecossistemas construídos — 10

1.2 Hábitats urbanos — 13

1.3 Organismos urbanos — 28

1.4 A ciência da Ecologia — 34

1.5 O que torna diferentes os ecossistemas urbanos? — 43

1.6 As metas da Ecologia Urbana — 47

Perguntas e leituras — 49

2 **Contabilidade urbana: metabolismo, energia e pegada ecológica** | 55

2.1 Metabolismo urbano — 58

2.2 Balanço energético urbano — 66

2.3 A pegada ecológica urbana — 73

2.4 Comparação com outros organismos sociais — 83

Perguntas e leituras — 90

3 **Processos do ecossistema urbano** | 99

3.1 Clima urbano — 101

3.2 O ciclo urbano da água — 120

3.3 Dinâmica urbana de nutrientes — 133

3.4 Amplificação ecológica urbana e suas consequências — 159

Perguntas e leituras — 171

4 **Ecologia dos organismos urbanos** | 181

4.1 Biodiversidade urbana — 182

4.2 Espécies invasoras e homogeneização biótica — 207

4.3 Interação entre espécies em ambientes urbanos — 220

4.4 Doenças infecciosas urbanas — 239

4.5 Características de organismos urbanos — 252

4.6 Evolução urbana — 281

Perguntas e leituras — 291

5 CONSEQUÊNCIAS DA ECOLOGIA URBANA | 309

5.1 Doença e saúde humana — 310

5.2 Princípios ecológicos e política urbana — 324

5.3 As cidades e o futuro — 343

Perguntas e leituras — 347

GLOSSÁRIO | 355

ÍNDICE DE ORGANISMOS | 373

ÍNDICE REMISSIVO | 377

1 Os ecossistemas urbanos e a ciência da Ecologia

Todo outono o tempo esfria, os dias se encurtam, o solo começa a secar e as folhas caem das árvores decíduas nas regiões temperadas. Essas folhas acarpetam o chão, mudando o modo como nutrientes e água se infiltram no solo, determinando quais plantas crescerão na próxima primavera, alterando a comunidade dos insetos e modificando o próprio cheiro da floresta. A persistência dessas mudanças depende da disponibilidade de água e calor e das propriedades das próprias folhas, com algumas mais resistentes à decomposição e outras bem menos. Às vezes essas mudanças são benéficas para a própria árvore, às vezes não. As árvores não perdem as folhas para criar essas mudanças, mas as mudanças acontecem mesmo assim, como consequência final da remoção da água das profundezas subterrâneas e da captura e do armazenamento da luz solar no decorrer de um verão inteiro.

A árvore importa energia, água e nutrientes de uma área relativamente pequena abaixo e em torno dela para obter sucesso ecológico e evolutivo pela sobrevivência e reprodução. Condições climáticas além do seu controle a forçam a perder parte dessa importação duramente obtida e criam todo um conjunto de consequências não intencionais para a própria árvore, assim como para o ecossistema circundante (Fig. 1.1).

Os temas centrais deste livro refletem as similaridades e diferenças entre cidades e árvores. Como uma árvore, as áreas urbanas mudam os hábitats à sua volta e importam e concentram recursos para um conjunto de propósitos intencionais. A concentração desses recursos e os produtos resultantes deles geram uma série de consequências não intencionais. No entanto, comparadas às árvores, as áreas urbanas aproveitam uma variedade muito mais ampla de recursos vindos de uma região muito maior, têm um efeito mais generalizado sobre o ambiente que ocupam e exportam esses efeitos para uma área mais extensa.

Neste capítulo, estabelecem-se as bases da Ecologia Urbana. Inicia-se pela apresentação do conceito de engenheiro do ecossistema, papel desempenhado com perfeição pelos seres humanos urbanos. Em seguida, passa-se a conhecer alguns hábitats das áreas urbanas e as plantas e animais que os ocupam. Isso serve de alicerce para examinar

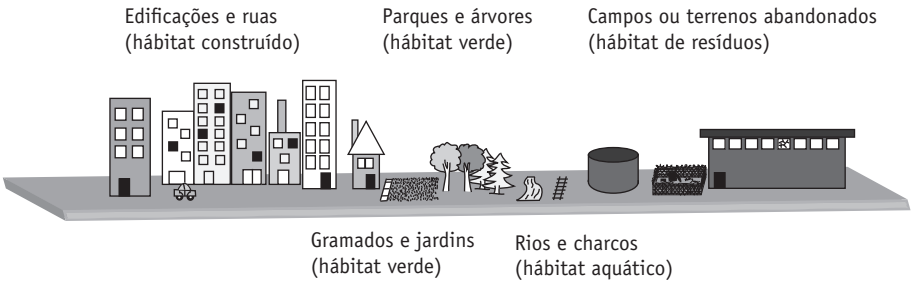


Fig. 1.7 As áreas urbanas contêm uma mistura de hábitats vizinhos e contrastantes que variam de completamente construídos por seres humanos a hábitats praticamente sem modificações

Do ponto de vista dos organismos que só podem sobreviver em alguns desses hábitats, o meio ambiente urbano pode parecer um conjunto de ilhas de hábitat (muitas vezes chamadas de *manchas*) separadas por ambientes inóspitos.

1.2.1 Hábitats construídos

Os hábitats construídos definem efetivamente as áreas urbanas, projetadas para uso humano até a exclusão quase completa de outros organismos (Fig. 1.8). Ainda assim, esses hábitats sustentam vida, e os detalhes da localização, da arquitetura e dos materiais determinam quais organismos conseguem persistir.

Em algumas cidades, *paredes e muros* cobrem tanto a área vertical quanto a área horizontal da cidade. Embora geralmente bastante inóspitas por conta da exposição a alto nível de luz, radiação ultravioleta, temperatura e poluentes e da baixa disponibilidade de água, ainda assim as paredes acomodam algumas espécies. Por exemplo, paredes construídas com materiais porosos como pedra calcária podem sustentar líquens, musgos e trepadeiras (Fig. 1.9), juntamente com várias algas e cianobactérias (Rindi, 2007). Junções e rachaduras, principalmente na parte inferior dos muros, permitem o acúmulo de água e nutrientes (Wheater, 2011). As plantas que sobrevivem nessas ilhas de vida conseguem sustentar comunidades de pequenos insetos, aranhas e lesmas (Trocha et al., 2007).

As *edificações* são estruturas físicas mais complexas do que apenas as suas paredes. Jardineiras em janelas e jardins em telhados sustentam pequenas comunidades de flores e plantas (Fig. 1.10). A estrutura física das edificações oferece locais para ninhos de aves de rapina que se alimentam dos pombos e pardais que habitam o centro da cidade,

Os *aterros sanitários*, quando ativos, têm grau elevado de perturbação e toxinas e só sustentam as plantas mais rijas. No entanto, oferecem recursos estáveis e renováveis a organismos capazes de usá-los e defendê-los, como gaivotas saprófagas. Além disso, o calor produzido pela decomposição nos aterros sanitários é capaz de prolongar a temporada de crescimento das plantas.

1.2.3 Hábitats verdes

Poucas cidades, mesmo no seu núcleo mais densamente povoado, consistem apenas em hábitats construídos, sem incluir áreas cobertas basicamente de plantas. Nas cidades europeias, o percentual de espaço verde varia de menos de 2% a até 46%, correspondendo a uma faixa de 3 m^2 a 300 m^2 por pessoa (Gaston, 2010b). Em Sheffield, na Inglaterra, a distância média até um espaço verde público é de 400 m, e 96% dos habitantes moram a uma distância máxima de 900 m, o equivalente a uma caminhada de 15 minutos (Barbosa et al., 2007), e muitos deles, naturalmente, têm acesso a áreas verdes particulares em seus próprios quintais ou jardins.

Os hábitats verdes variam em tamanho, uso, gerenciamento e regime de perturbação e se dividem em três categorias baseadas no seu histórico e propósito (Meurk, 2011).

i) *Remanescentes* são manchas de hábitat deixadas quase sem perturbações.
ii) Os locais *espontâneos* foram recolonizados por plantas, às vezes sobre *substratos* difíceis como calçadas ou paredes.
iii) Os *locais deliberados* são gerenciados intencionalmente, com cultivo e paisagismo que podem envolver promoção de espécies desejáveis e remoção das indesejáveis.

Os bosques em áreas urbanas tendem a ser pequenos e *fragmentados*, separados em manchas isoladas. Em geral, as árvores são baixas, com um percentual pequeno de cobertura (Moffatt; McLachlan; Kenkel, 2004). A perturbação de seres humanos e de animais de estimação torna difícil a sobrevivência e o crescimento de plantas pequenas entre as árvores. É comum as florestas urbanas serem remanescentes ao longo de rios ou em encostas íngremes onde é difícil construir (Jim, 2011). Animais pequenos que dependem desses hábitats, como os roedores, podem ter os movimentos restritos por conta da fragmentação e se acumular em densidade altíssima. Algumas manchas são pequenas demais para sustentar predadores grandes, melhorando as condições que

Fig. 1.16 O onipresente pombo-comum *Columba livia*

mosaico de hábitats do meio ambiente urbano é propício a alguns organismos, mas a fragmentação resultante e as barreiras potencialmente hostis e perigosas entre as ilhas de hábitat podem ser fatais a outros.

A complexa mistura de hábitats também pode ser um desafio para os cientistas. Os estudos de Ecologia Urbana são especialmente sensíveis à *escala espacial* (ou tamanho) da área estudada. Os estudos de áreas pequenas talvez não registrem fatores importantes que afetam um processo, mas pode ser difícil realizar e analisar estudos de áreas grandes.

1.3 Organismos urbanos

Às vezes os pais se irritam quando os filhos, ao terem a oportunidade de ver animais caros e exóticos no zoológico, passam o tempo todo correndo atrás de pombos no meio da multidão (Fig. 1.16). Às vezes caluniado como *rato de asas*, o pombo-comum (*Columba livia*) é um caso clássico de sucesso urbano. Nativo de penhascos da Europa e do norte da África, os pombos seguiram os seres humanos pelo mundo inteiro, fazendo ninho em edificações e subsistindo com os muitos alimentos que os seres humanos plantam e descartam.

Para muitos humanos, os seres vivos da cidade são as pessoas e *pragas* ocasionais como pombos e ratos. No entanto, o interessante é que as áreas urbanas abrigam representantes de quase todas as formas de vida. No caso de alguns grupos de espécies, como plantas e pássaros, as cidades podem ter até *biodiversidade* – a variedade de espécies presentes na área – mais alta do que as regiões circundantes, embora a maioria dos grupos de organismos tendam a ser menos diversificados nas cidades (McKinney, 2002).

O estudo da biodiversidade urbana dá uma boa ideia dos fatores que controlam o lugar onde vivem espécies diferentes e até que ponto

Fig. 1.18. Além disso, nem todas as regiões da Terra receberam a mesma atenção, concentrada em cidades da América do Norte e da Europa (Fig. 1.19) que ficam em latitude mediana do hemisfério norte (Evans, 2010), como mostra a Fig. 1.20.

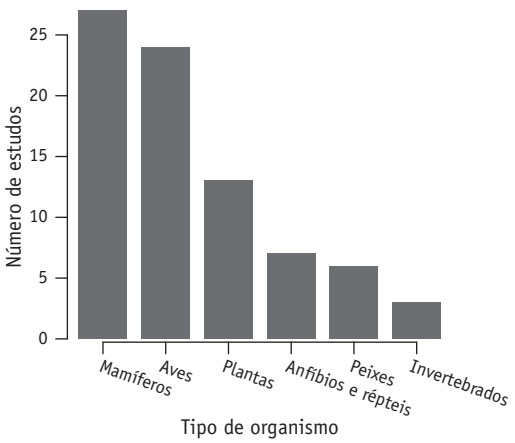


Fig. 1.18 Número de estudos sobre o modo como a população humana afeta a biodiversidade de tipos diferentes de organismo
Fonte: adaptado de Luck (2007).

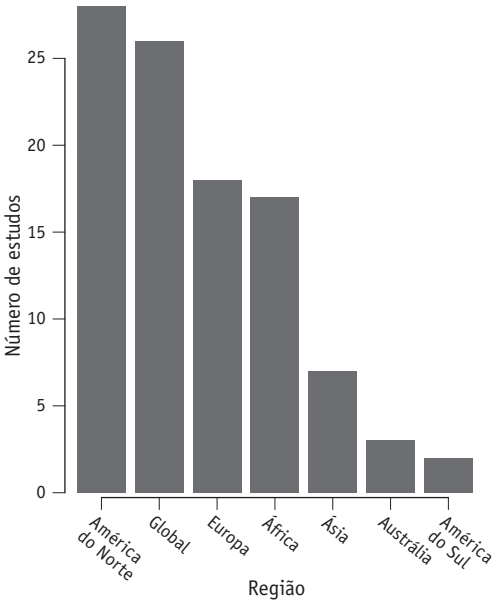


Fig. 1.19 Número de estudos sobre o modo como a densidade populacional humana afeta a biodiversidade em diferentes regiões. A indicação América do Sul inclui as Américas Central e do Sul
Fonte: adaptado de Luck (2007).

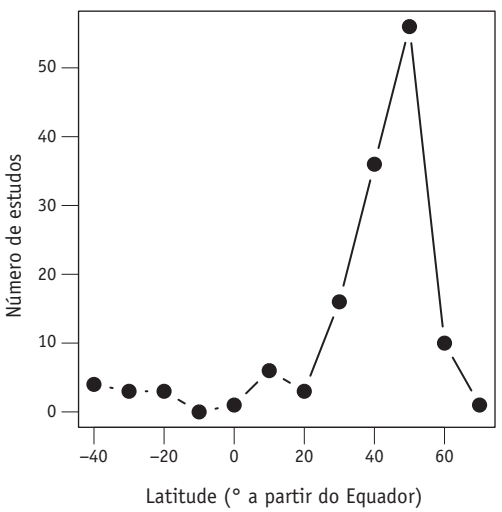


Fig. 1.20 Distribuição de estudos sobre a Ecologia e a história de vida de populações urbanas em função da latitude
Fonte: adaptado de Evans (2010).

tas produzirão sementes que não serão mais levadas pelo vento porque muitas caem em estacionamentos e morrem? A Ecologia Evolutiva Urbana se concentra em entender a rapidez e a frequência da evolução em hábitats urbanos e quais as diferenças evolutivas entre hábitats urbanos e não urbanos (seção 4.6).

1.5 O que torna diferentes os ecossistemas urbanos?

Cada um dos grandes componentes da Ecologia (seção 1.4) pode ser fundamentalmente alterado nos ecossistemas urbanos (Collins et al., 2000). As principais diferenças entre os sistemas urbanos e não urbanos formam a base dos processos ecológicos específicos discutidos neste livro.

1.5.1 Ecossistemas urbanos

Os aspectos novos dos ecossistemas urbanos resultam da modificação do hábitat e da mudança de entradas e saídas provocadas pela capacidade humana de adotar comportamentos voltados a metas, conforme ilustrado na Fig. 1.26 (McDonnell; Hahs, 2008). Atingir quase qualquer objetivo dentro do ambiente construído exige entrada e saída de energia e materiais. Essas entradas e saídas têm consequências intencionais e não intencionais (Richter; Weiland, 2011). Construir uma estrada exige energia, mão de obra e materiais e cria grande variedade de perturbações, todas com o propósito de facilitar o transporte. Mas essa estrada também cria toda uma série de consequências não intencionais: as flores que vivem ao lado da estrada recebem a água e os poluentes que dela escorrem não pela característica do projeto, mas como subproduto não intencional da impermeabilidade da pavimentação. Os animais correm perigo ao atravessar a estrada como consequência não intencional da alta velocidade do transporte.

Invariavelmente, os sistemas urbanos têm uma entrada imensa de energia, água, nutrientes e materiais (seção 2.3). Os combustíveis fósseis e os alimentos transportados concentram calorias em nível sem precedentes. Os reservatórios e sistemas de distribuição levam a água distante a lares e jardins urbanos, à indústria urbana e até à agricultura urbana. Fertilizantes ricos em nitrogênio e fósforo extraídos a grande distância melhoram gramados e jardins. Tijolos, cimento, metal, madeira, papel e plástico chegam às toneladas e são usados em construções, embalagens e mercadorias.

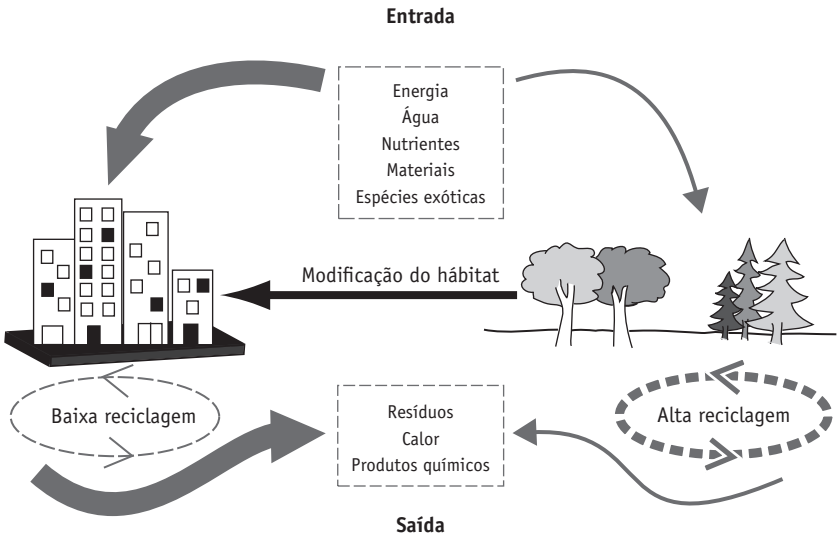


Fig. 1.26 Diferenças entre os ecossistemas urbanos e os menos afetados por seres humanos

O movimento de materiais, a construção civil e a elevada densidade populacional humana criam níveis de perturbação diferentes, em termos de tipo, frequência e magnitude, dos existentes em outros ecossistemas. Os canteiros de obras são esvaziados de uma comunidade que será substituída por um ambiente totalmente construído, em alguns casos, ou por terrenos altamente manejados, em outros. As plantas perto das calçadas enfrentam pisoteio constante e risco de vandalismo. Essa variedade de perturbações cria uma paisagem muito fragmentada na qual o hábitat adequado para um organismo pode se fragmentar em manchas pequenas e distantes.

A modificação do hábitat com a pavimentação e a construção de edificações aumenta a probabilidade de escoamento rápido da água depois de tempestades e reduz a de absorção pelo solo. Ao contrário dos cursos d'água, boa parte da água urbana chega em tubos que, em sua maioria, embora não na totalidade, são inacessíveis a plantas, animais e bactérias do solo.

Nas áreas urbanas, as propriedades básicas do fluxo de ar e do tempo local também se transformam. O ar é aquecido pelo calor absorvido e produzido pelas edificações, e a umidade é configurada pela água liberada pela combustão e por gramados irrigados.

As áreas urbanas têm nível alto de produtos químicos, alguns novos, outros já conhecidos. Os plásticos e medicamentos introduzem

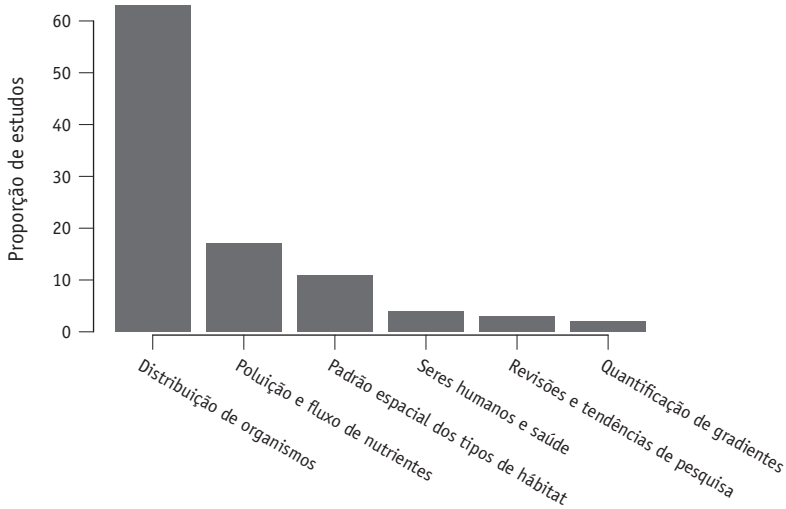


Fig. 1.27 Percentual de estudos que se concentram em tópicos diferentes da Ecologia Urbana
Fonte: adaptado de McDonnell e Hahs (2008).

organismos urbanos. Para as plantas e animais da cidade, o ecossistema urbano apresenta um conjunto de novos desafios na antiga batalha da sobrevivência e da reprodução. Esses dois pontos de vista contribuem para uma avaliação mais ampla das cidades como ecossistemas e comunidades ecológicas, além de serem lugares onde as pessoas moram, trabalham e se divertem.

Perguntas e leituras

Perguntas para discussão

Sobre a seção 1.1

1. Como e por que os seres humanos atuam como *engenheiros* de um ecossistema?
2. Quais são os efeitos positivos e negativos dos seres humanos como engenheiros do ecossistema dentro e além da porção modificada do ecossistema? Os engenheiros do ecossistema não humanos têm efeitos positivos e negativos similares?
3. Quais as semelhanças e diferenças entre os seres humanos e os outros engenheiros do ecossistema?
4. Quais as vantagens e desvantagens de ser um engenheiro do ecossistema?

2 Contabilidade urbana: metabolismo, energia e pegada ecológica

As cidades têm papel cada vez mais importante na sociedade: pela primeira vez na história, mais da metade da população mora em área urbana. Essa concentração de pessoas e dos artefatos a elas associados, cada vez maior e mais exigente, provoca toda uma série de perguntas sobre os efeitos dos seres humanos sobre o meio ambiente:

i) como sobrevivem as áreas urbanas, com a sua população densa, demanda elevada de recursos e grande produção de resíduos?
ii) como quantificar os efeitos ecológicos das cidades?
iii) como esses efeitos dependem das propriedades da região circundante?
iv) os métodos usados para descrever e quantificar os efeitos humanos podem se aplicar a outros engenheiros do ecossistema e organismos sociais?

Este capítulo apresenta quatro abordagens para quantificar o uso urbano de recursos e as suas consequências ambientais.

- O *metabolismo urbano* acompanha o que entra e sai da cidade como se ela fosse um único e enorme organismo. Assim como uma ave come, bebe e coleta material para o ninho, as cidades recebem a entrada de comida, água, materiais e energia. A mesma ave excreta resíduos e às vezes consegue criar filhotes. As cidades também produzem vários resíduos e exportam produtos manufaturados, culturais e biológicos.
- O *balanço energético urbano* se concentra numa única moeda, a *energia*, como motor da vida urbana. Todo aspecto do metabolismo urbano, seja a importação de alimentos e materiais, seja a construção de moradias ou o tratamento dos resíduos, exige energia. Como e onde essa energia é coletada e usada nos revela muito sobre o modo como a cidade funciona e sobrevive.
- A *pegada ecológica* estima a área de terra (e às vezes de oceano) que a cidade exige para colher os seus insumos, tratar os seus

2.1 METABOLISMO URBANO

A palavra metabolismo designa os processos pelos quais um organismo mantém a vida por meio da obtenção de insumos como alimentos e da transformação desses insumos em estruturas, crescimento, reprodução ou resíduos. Os ecossistemas urbanos têm vias metabólicas de entrada, processamento e saída que podem ser analisadas como as de um organismo único. Nessa contabilidade, as cidades importam alimentos, água, materiais e energia; transformam essas entradas em novos seres humanos, edificações e produtos; transportam seres humanos, materiais e resíduos de um lugar a outro; e exportam uma variedade de resíduos biológicos e não biológicos (Fig. 2.1).

Conforme as sociedades ficaram mais centralizadas, a entrada e a saída de materiais aumentaram enormemente. Mesmo sem incluir a água, o morador de uma área urbana moderna importa diariamente mais ou menos o próprio peso em materiais. Grande parte disso é energia armazenada em combustíveis fósseis, rapidamente exportada como gás depois da combustão. Em apenas uma semana, os moradores urbanos geram o próprio peso em resíduos sólidos (Best Foot Forward;

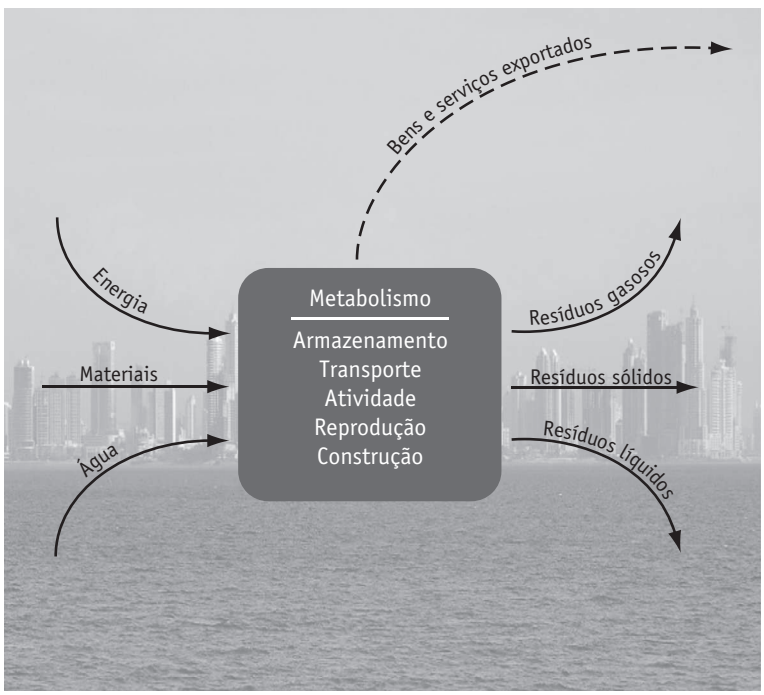


Fig. 2.1 Entradas, processamento e saídas urbanas

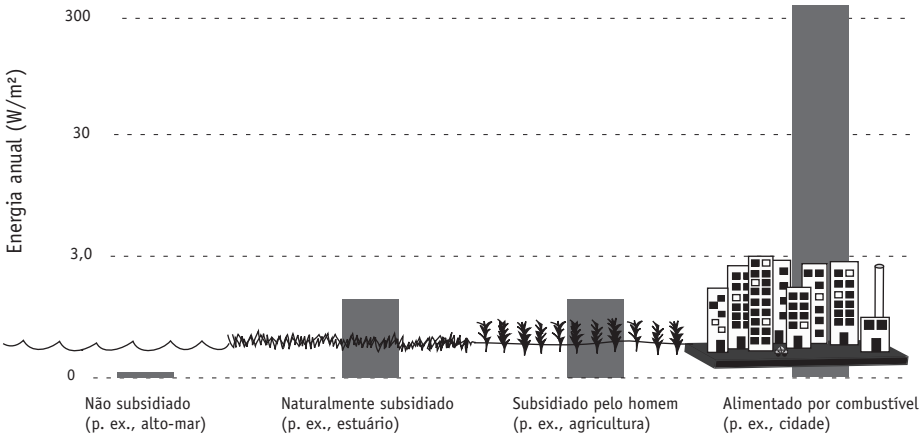


Fig. 2.9 A energia usada numa cidade moderna movida a combustível pode exceder a de um ecossistema típico por um fator de cem ou mais
Fonte: adaptado de Odum (1975).

da área da Terra, as cidades têm o potencial de consumir quase tanta energia quanto todos os ecossistemas não urbanos combinados (Alberti, 2005).

2.2.1 Uso urbano de energia

Como o consumo urbano de energia excede a fotossíntese, a energia tem de ser importada. Portanto, os ecossistemas urbanos são *heterotróficos*, ou seja, recorrem à energia solar fixada por plantas longínquas. Em épocas anteriores, a maior parte da energia vinha da madeira ou de outros combustíveis de biomassa colhidos no meio ambiente urbano ou perto dele. Desde cerca de 1900, a maior parte da energia tem vindo de combustíveis fósseis, e atualmente menos de 10% vem de combustíveis de biomassa (Smil, 2000). Os combustíveis fósseis concentram energia solar armazenada durante milhões de anos. Com mais acesso a fontes de energia distantes e antigas, os ecossistemas urbanos conseguem alcançar uma densidade populacional mais elevada, o que exige uma infraestrutura adicional de coleta de energia. Essa retroalimentação cria a extrema demanda de energia das cidades modernas.

Ao contrário da maioria dos ecossistemas, o ecossistema urbano não é limitado pela energia solar disponível no local; quando precisa de mais energia, importa mais combustível. Isso rompe a restrição que gera a pirâmide típica dos ecossistemas (Fig. 2.8) e cria uma pirâmide invertida, com o *topo maior* composto de consumidores, principalmente sob

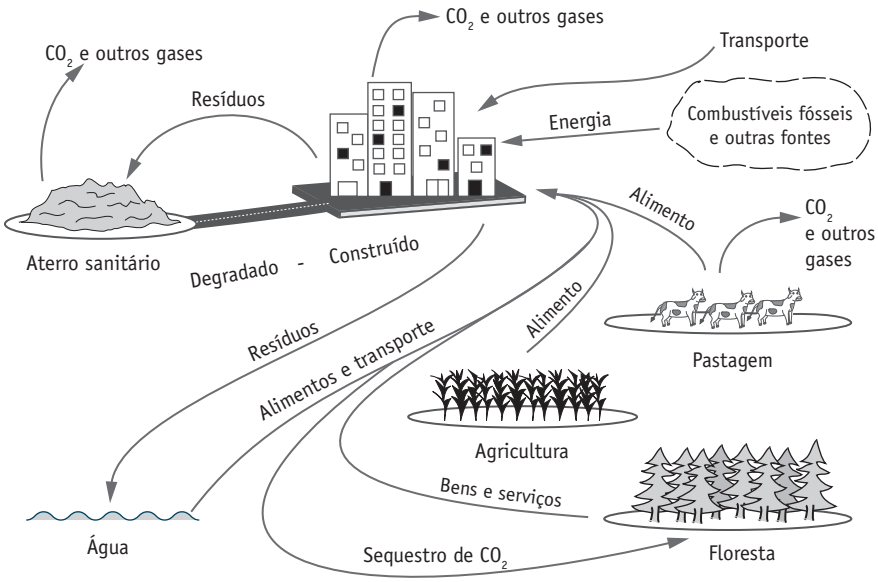


Fig. 2.13 Atividades e tipos de uso da terra envolvidos no cálculo da pegada ecológica

- as *florestas* produzem madeira usada em construções, produção de papel e outras mercadorias.
- a *terra construída ou degradada* é muito modificada e praticamente indisponível para outros organismos. Essa terra é ocupada por edificações para moradia e produção de mercadorias, ruas e estradas para transporte e distribuição de bens e serviços ou terra usada para mineração e descarte de resíduos.
- a *área de energia* pode ser vista de duas maneiras: em primeiro lugar, ela pode descrever a terra necessária para absorver o dióxido de carbono gerado pelo uso de combustíveis fósseis; em segundo lugar, pode descrever a terra necessária para produzir combustível de biomassa, como lenha, em quantidade suficiente para substituir a energia extraída pelos combustíveis fósseis.
- a *água* oferece alimento e corredores de transporte e recebe a saída de resíduos.

2.3.2 Cálculo da pegada

As quantidades resumidas pelo metabolismo urbano podem ser usadas para calcular a pegada ecológica. Os 7,4 milhões de habitantes de Londres têm uma pegada de cerca de 300 vezes a área

do que dobrou (Smil, 2000). A produção agrícola por hectare aumentou até seis vezes (Wilson, 2011), em parte por causa da entrada maior de nutrientes e energia. Inovações constantes poderiam efetivamente expandir o tamanho do planeta em relação à pegada ecológica humana. Este livro não pretende resolver esse debate, apenas ajudar a entender os efeitos ecológicos de consumo, resíduos e modificação do hábitat.

2.3.4 Serviços do ecossistema

A *moeda* mais popular entre os economistas é, naturalmente, o dinheiro. Os *serviços do ecossistema*, valor econômico gerado por elementos do meio ambiente natural, se dividem em três categorias gerais: fornecimento de água e alimento, cultura e regulação (como clima e controle da poluição).

Estocolmo ilustra algumas oportunidades e desafios dessa abordagem (Bolund; Hunhammar, 1999). Os hábitats urbanos, como as árvores das ruas, os gramados, os parques, as florestas urbanas, os charcos, lagos e cursos d'água, oferecem ao menos seis tipos de serviços do ecossistema (Fig. 2.15).

- *Filtragem do ar*: um hectare de floresta mista remove cerca de 15 t de particulados, enquanto as florestas de abetos conseguem remover até 45 t. Estocolmo é uma cidade muito arborizada, com até 10% da área composta de florestas.

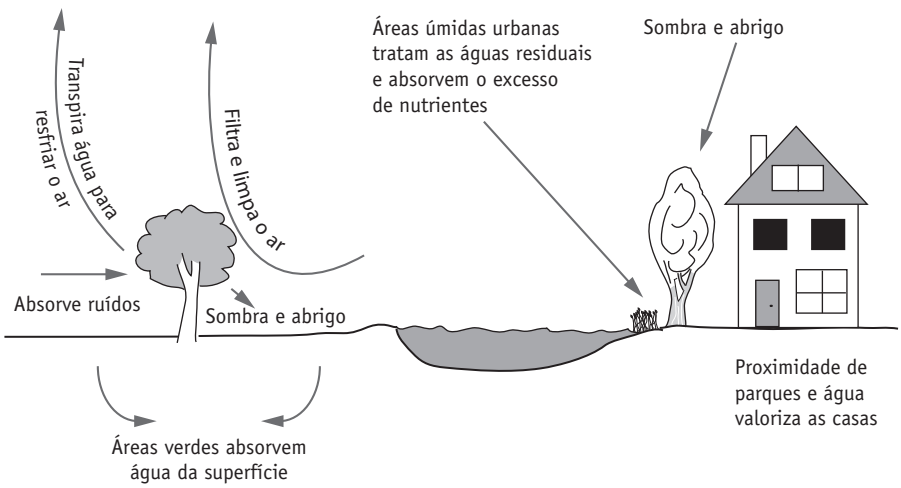


Fig. 2.15 Alguns serviços do ecossistema oferecidos por hábitats urbanos em Estocolmo, na Suécia
Fonte: adaptado de Bolund e Hunhammar (1999).

de nutrientes, mudança climática local, alteração das interações entre espécies, novos comportamentos animais e até mudança evolutiva, é o foco principal do restante deste livro.

2.4 Comparação com outros organismos sociais

Qualquer animal grande que viva em grupos sociais exigirá grande quantidade de alimento e materiais. Todos os engenheiros do ecossistema aumentam o seu impacto com o uso de materiais para reconstruir o meio ambiente (Fischer-Kowalski, 1998). Os seres humanos se destacam pela complexidade da sociedade e pela extensão do trabalho de engenharia, que provoca demandas maiores e mais extremas ao meio ambiente. Esta seção compara os seres humanos com outros animais e se concentra detalhadamente em aproximar e contrastar colônias de formigas com cidades humanas.

Mesmo quando não sociais, animais grandes podem alterar profundamente o meio ambiente. Alguns, como o alce, exigem tanta energia que consomem uma fração substancial das suas plantas favoritas e dão vantagem competitiva às plantas de que menos gostam (Hulme, 1996). O maior animal terrestre vivo, o elefante, arranca árvores e arbustos inteiros, o que pode mudar a frequência dos incêndios, alterar o suprimento de alimento de outros organismos e prejudicar solos e plantas em zonas ripárias em nível suficiente para transformar o movimento de nutrientes (Naiman, 1988). A adição do comportamento social, como entre os elefantes, acentua e concentra esses efeitos.

Os seres humanos os ampliam ainda mais com a sua elevada densidade populacional. Pelo uso típico de energia, uma população de carnívoros aproximadamente do tamanho dos seres humanos teria uma densidade de cerca de 0,001 habitante por hectare, e herbívoros de tamanho semelhante teriam densidade apenas dez vezes maior (Wilson, 2011), ou 0,01 indivíduo por hectare. Esses valores estão centenas de vezes abaixo das cidades e, na verdade, são menores do que se a população de seres humanos se espalhasse por igual em toda a área terrestre do planeta (seção 1.2).

2.4.1 Aplicação da contabilidade urbana a uma colônia de formigas

Obviamente, as formigas diferem profundamente dos seres humanos no tamanho e na capacidade mental, mas são parecidas no comportamento extremamente social, na distribuição quase mundial e na grande variedade dos seus efeitos sobre a ecologia. Na

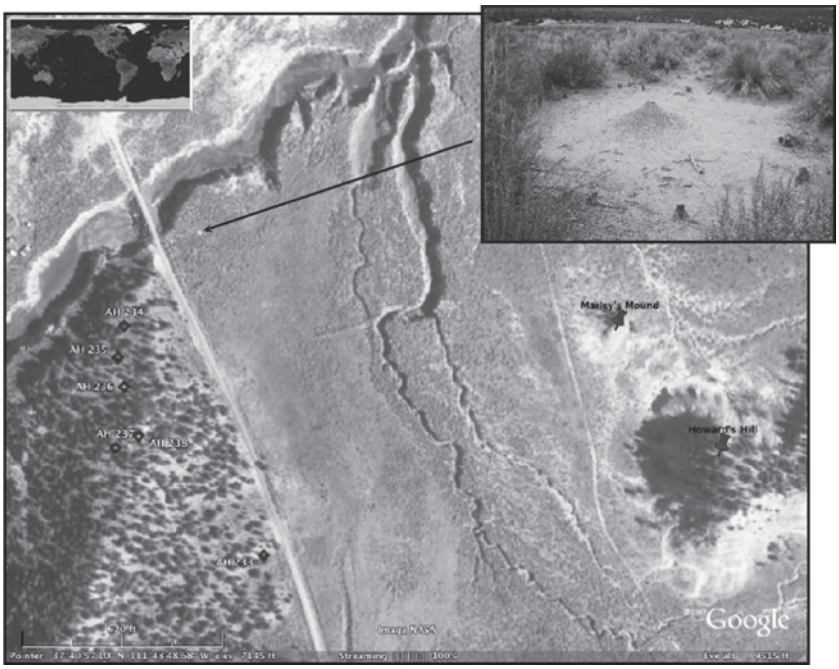


Fig. 2.19 As áreas limpas em torno de colônias de *Pogonomyrmex*, formiga colhedora de sementes e engenheira do ecossistema, são visíveis do espaço
Foto: cortesia de Dennis Bramble.

seres humanos perpetuam e acentuam o seu efeito por meio da capacidade inigualável de acumular conhecimento e tecnologia. Grandes inovações como fogo, linguagem e agricultura, todas bastante recentes do ponto de vista evolutivo, constituem as bases sobre as quais a civilização humana se desenvolveu e sobre as quais os atuais ecossistemas urbanos continuam a crescer (Rees, 2000).

PERGUNTAS E LEITURAS

Perguntas para discussão

Sobre o Cap. 2

1. Que metáfora mais se adéqua à cidade onde você mora? Seria a mesma para outras cidades que já visitou? Por quê?
2. As respostas à pergunta 1 mudam a maneira como você realizaria um estudo sobre Ecologia Urbana, da hipótese ao método e às conclusões?

3 Processos do ecossistema urbano

O metabolismo e o balanço energético urbanos quantificam um dos temas abordados: o aumento de entradas e saídas característico das áreas urbanas. Em termos amplos, a pegada ecológica quantifica outro tema: a extensão da modificação do hábitat no ambiente construído. Essas análises determinam o pano de fundo de um exame detalhado do terceiro tema que será tratado: as consequências intencionais ou não da ação humana sobre o funcionamento do ecossistema urbano. Este capítulo se concentra na Ecologia de Ecossistemas para verificar como a urbanização altera o movimento e o uso de materiais e energia.

Os seguintes princípios (Fig. 3.1), que ampliam aqueles apresentados nos subitens da seção 1.4, organizam a discussão das três formas principais de energia e material que caracterizam o ecossistema urbano: temperatura, água e nutrientes.

i) Os processos do ecossistema dependem de ciclos, de como a energia e os materiais se deslocam de um local a outro e se transformam em estados diferentes.
ii) As propriedades físicas básicas de um material ou forma de energia determinam como ele é armazenado, reciclado e transformado.
iii) As propriedades biológicas básicas de um material ou forma de energia determinam o papel dos organismos vivos no seu armazenamento, transformação e perda.
iv) O hábitat, inclusive a sua estrutura física e os organismos que nele vivem, configura os ciclos do ecossistema.
v) Ciclos de ecossistema diferentes interagem entre si, geralmente de maneira inesperada.
vi) Os processos ocorridos num ponto do espaço ou do tempo estão ligados aos que ocorrem em outros tempos e lugares.

A maioria das alterações humanas amplifica os processos do ecossistema e aumenta a magnitude e o ritmo de movimento de nutrientes, materiais e água. Essas alterações são feitas por muitas razões, por exemplo, em virtude da obtenção de água ou comida e por conta de transporte, moradia, estética e recreação. Raramente ou nunca essas

evapotranspiração mais alto do que a área não urbana circundante, criando um *efeito oásis* temporário (Diem; Brown, 2003).

A estrutura do ambiente construído

As superfícies impermeáveis que substituem a vegetação alteram o movimento tanto dos raios de luz quanto da água. As edificações dominam o centro urbano, com paredes que podem ter área vertical tão grande quanto a horizontal (seção 1.2). Essas superfícies verticais recebem luz solar em horas diferentes do dia, como de manhã cedo ou no fim da tarde, e em ângulos diferentes do que a *topografia* das áreas não urbanas, que é um pouco mais regular (Harman; Belcher, 2006). Portanto, as áreas urbanas absorvem *insolação*, ou radiação solar, diariamente durante um período mais longo do que as áreas não urbanas. A radiação solar incidente que se reflete pode ricochetear entre edificações até ser finalmente armazenada pelos materiais sob a forma de calor (Tran et al., 2006).

A topografia superficial urbana consiste nos seguintes elementos (Fig. 3.4):

- o *cânion urbano* é o abismo profundo entre edifícios altos que pode canalizar o vento ou concentrar e prender o calor;
- o *dossel urbano* se compõe dos edifícios altos;
- a *camada do dossel urbano* é o ar dentro do dossel urbano, na área abaixo do alto das edificações e das árvores;
- a *camada-limite urbana* é o ar diretamente acima do dossel urbano.

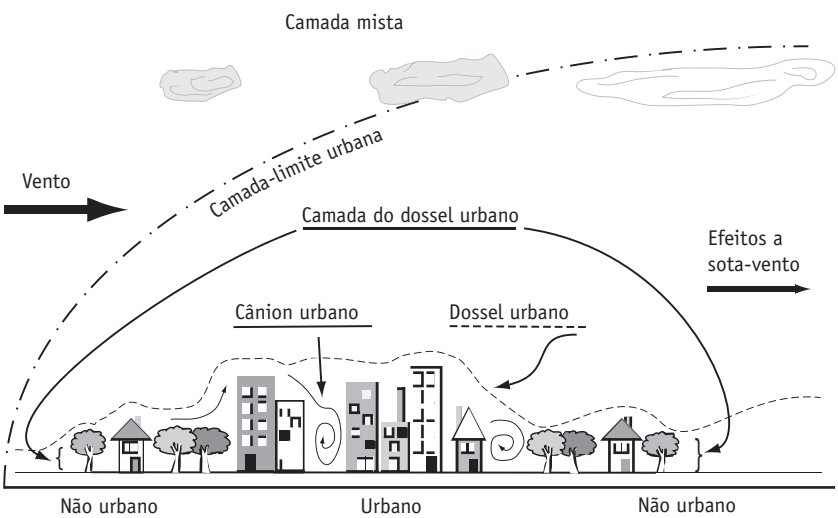


Fig. 3.4 A acidentada superfície urbana

(Cap. 4), juntamente com a vida dos seres humanos que, sem querer, deram início ao processo.

3.2 O CICLO URBANO DA ÁGUA

O ambiente construído altera o clima em parte por mudar diretamente a entrada e a saída de energia, basicamente radiação do Sol, e em parte por reduzir a evaporação e a transpiração. Essas são apenas duas maneiras como os ambientes urbanos alteram os ciclos do ecossistema. A demanda de água e as superfícies impermeáveis da cidade alteram radicalmente o fluxo de água, aumentam entradas e saídas e reduzem a reciclagem e o armazenamento local. A ilha urbana de calor pode aumentar a precipitação, tanto dentro quanto em torno do meio ambiente urbano. Dado o papel essencial da água, principalmente para as plantas que formam a base da pirâmide energética ecológica, essas mudanças de suprimento da água se propagam por todo o ecossistema urbano.

3.2.1 Princípios do ciclo da água

De uma forma ou de outra, a água está constantemente em movimento. A *Hidrologia* é o estudo do movimento e da distribuição da água debaixo da terra, na superfície ou na atmosfera, e o *ciclo da água* descreve a sua entrada, saída e movimento. As propriedades diversificadas e incomuns da água determinam o papel dos efeitos da urbanização sobre o seu ciclo.

i) Pouca água é criada ou destruída, embora as plantas usem um pouco dela na fotossíntese para criar açúcares. A respiração e a combustão revertem essa reação e geram quantidade relativamente pequena de água.
ii) A água é armazenada em vários reservatórios: como gelo no estado sólido, como água doce, água salgada ou aquíferos subterrâneos no estado líquido e, no estado gasoso, como vapor d'água em toda a atmosfera e concentrada em nuvens.
iii) A água é necessária para todas as formas de vida e exigida em grande quantidade no crescimento das plantas.
iv) O fluxo da água depende da inclinação e das propriedades das superfícies. A água corrente pode entrar em corpos d'água acima do solo, como o oceano, *infiltrar-se* na superfície para ser usada pelas plantas ou armazenada no solo e em aquíferos, ou evaporar na atmosfera.

Quadro 3.1 Elementos do balanço da água e os efeitos da urbanização

Entrada ou saída	Símbolo	Efeitos da urbanização
Entradas		
Precipitação	P	Pode aumentar ou diminuir.
Entrada antropogênica	I_a	Geralmente grande.
Entrada a montante	I_u	Geralmente reduzida.
Saídas		
Evaporação	E	Reduzida em virtude do escoamento rápido.
Transpiração	T	Reduzida por causa da pouca vegetação.
Escoamento a jusante	R	Aumentado pelas superfícies impermeáveis.
Recarga da água subterrânea	G	Reduzida por conta da menor infiltração.
Descarga de águas residuais	W	Pode se igualar à precipitação ou excedê-la.

(Shuster et al., 2005). Tipicamente, essas superfícies substituem a vegetação, reduzindo assim a transpiração (T), a infiltração e a recarga de água subterrânea (G). Dessa maneira, a água da precipitação escoa rapidamente para cursos d'água e sistemas de esgotamento de águas pluviais (R). O movimento mais rápido da água de superfície também reduz a evaporação (E), já que menos água

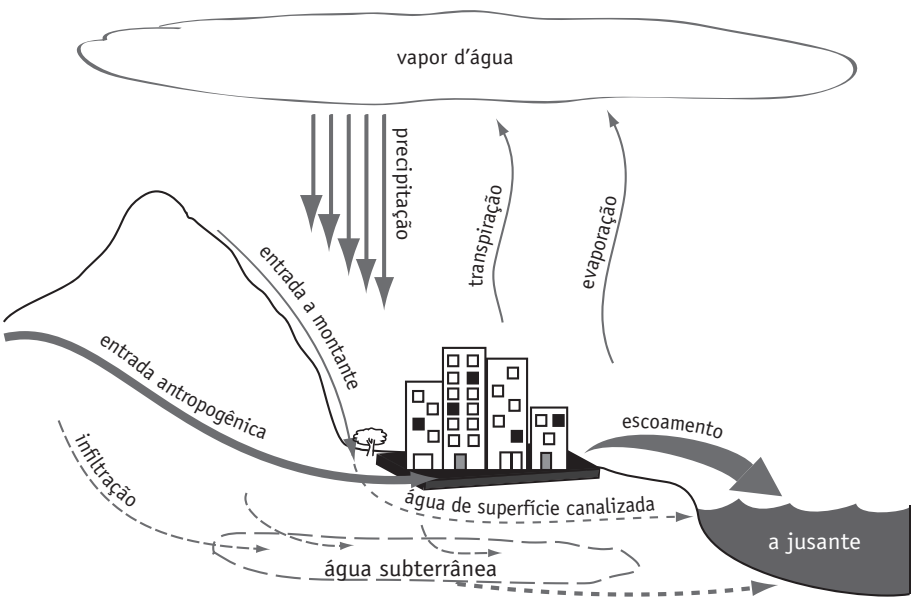


Fig. 3.15 O ciclo urbano da água

3.3 Dinâmica urbana de nutrientes

Os organismos vivos, principalmente as plantas, têm papel importante nos ciclos climático e hídrico urbanos, pela capacidade de transpirar grande quantidade de água. O ciclo dos nutrientes é controlado de forma ainda mais intensa pelos organismos vivos. Em áreas urbanas, nas quais o metabolismo industrial humano domina a entrada e a saída de nutrientes, o ciclo destes resulta da inter-relação entre fluxos preexistentes, entradas humanas e o modo como os organismos urbanos usam, transformam e incorporam esses elementos.

Os nutrientes são os elementos e as moléculas necessárias para sustentar a vida. Ainda assim, cada nutriente tem um reservatório fora dos organismos vivos, como obviamente acontece com a água, que existe nos estados sólido, líquido e gasoso. O nitrogênio e o carbono, os dois elementos mais abundantes no corpo humano depois do hidrogênio e do oxigênio, têm grandes reservatórios atmosféricos, o nitrogênio em geral sob a forma de N_2 e o carbono, de dióxido, CO_2. Também há depósitos enormes de carbono em rochas, água e organismos vivos e mortos. A maioria dos outros nutrientes importantes, como fósforo, enxofre e ferro, está armazenada basicamente em rochas e sedimentos.

Quando circulam pelo ecossistema, deslocando-se por organismos vivos e reservatórios, os nutrientes sofrem transformações químicas (Fig. 3.22). Os *ciclos biogeoquímicos* descrevem a passagem de um elemento pelos diferentes estados, como líquido, sólido e gasoso, e diversos compostos químicos. Cada elemento só é útil às coisas vivas em determinados compostos, e a utilidade de cada composto depende do organismo.

A compreensão dos nutrientes é facilitada pela *razão de Redfield*, desenvolvida a princípio para o fitoplâncton marinho (Redfield, 1934). Essa razão estabelece a abundância de três nutrientes principais em 106:16:1: carbono, nitrogênio e fósforo. Cada molécula de fósforo se iguala a cerca de 16 moléculas de nitrogênio e aproximadamente a 106 de carbono (Fig. 3.23). Embora desenvolvidos para organismos oceânicos, esses valores também constituem um patamar útil para as plantas que formam a base da cadeia alimentar terrestre. O elemento que fica abaixo dessa razão se torna o *nutriente limitante*, e o que a excede demasiadamente pode se tornar toxina ou poluente.

plantio, quantidade comparável à da terra destinada a reservas conservacionistas (Qian; Ronald, 2002). No clima relativamente seco de Denver, depois de uns 40 anos, o carbono do solo das placas de grama chega a nível mais alto do que o do capinzal da pradaria circundante (Pouyat; Yesilonis; Golubiewski, 2009).

Embora menos complexo do que o ciclo do nitrogênio, a entrada de carbono e as mudanças do hábitat criam consequências não intencionais para as plantas, a atmosfera e os seres humanos urbanos (Fig. 3.35). A atmosfera transporta esses efeitos pelo globo e cria alterações climáticas que vêm ficando cada vez mais evidentes.

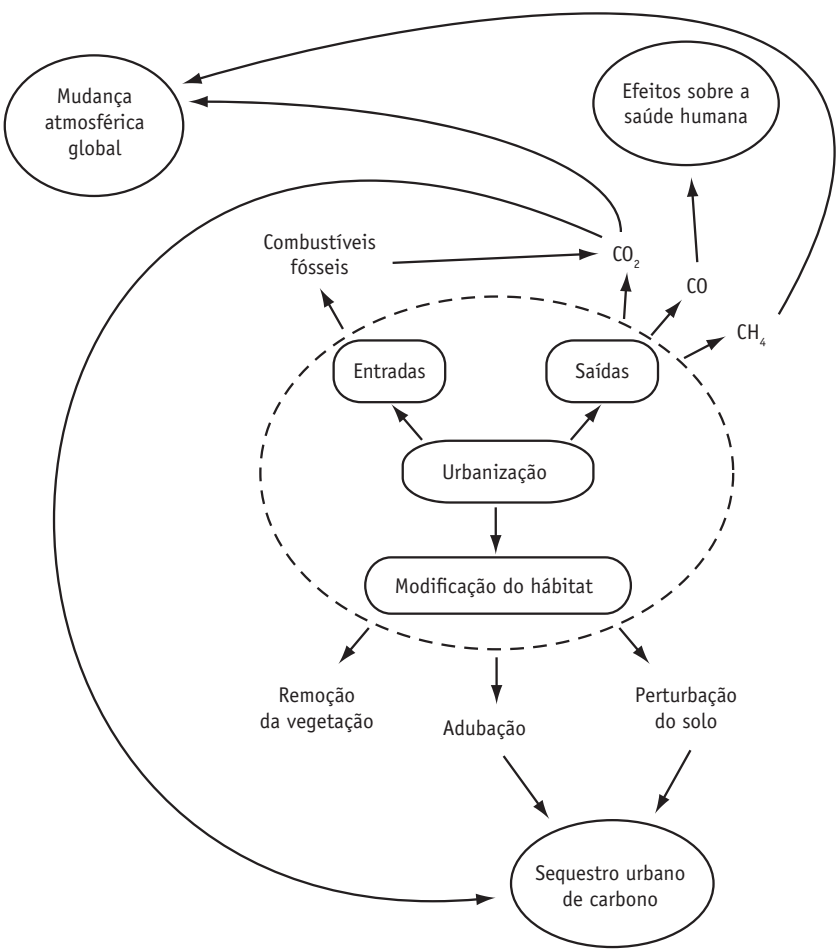


Fig. 3.35 A série de causas e efeitos que vai da modificação do hábitat urbano e de sua entrada e saída à mudança do ciclo urbano do carbono

3.3.3 Outros nutrientes

Entre os muitos outros elementos necessários à vida, serão considerados apenas três: enxofre, fósforo e ferro. Na razão de Redfield, o enxofre e o fósforo são cerca de dez vezes menos abundantes em seres vivos do que o nitrogênio (Fig. 3.23). O ferro não obedece a uma proporção tão estrita, mas é essencial tanto na fotossíntese das plantas quanto no transporte de oxigênio nos animais (Geider; Roche, 1994). Ao contrário do carbono e do nitrogênio, a atmosfera e os organismos vivos têm papel relativamente pequeno na dinâmica desses outros nutrientes, e o seu ciclo é menos afetado pela urbanização.

O ciclo do enxofre

O enxofre é um elemento essencial em todas as células, necessário em alguns aminoácidos que formam proteínas e em muitas enzimas. Como o nitrogênio, o enxofre não pode ser extraído do ambiente pelos animais, e assim circula por meio das plantas (Kellogg et al., 1972). Mas, ao contrário do nitrogênio, o principal reservatório de enxofre não reativo é a forma mineral sólida das rochas sedimentares, que pode se tornar reativa quando dissolvida em água.

Como todas as plantas contêm enxofre, a queima de combustível fóssil libera na atmosfera o enxofre armazenado pelas plantas antigas. Cerca de 75 Tg anuais de enxofre são mobilizados pela queima de combustível fóssil. A atividade humana mobiliza por ano mais 75 Tg, com o refino de minérios, a poeira da agricultura e da pecuária, o aumento da exposição de sedimentos de lagos secos e o sulfeto de dimetila liberado de charcos com carga elevada de nitrogênio (Galloway, 1996). Combinados, esses processos excedem em muito a taxa natural de mobilização de enxofre. Embora muitos desses processos ocorram fora dos limites urbanos, a combustão aumenta o nível de enxofre nos solos da cidade (Simon, 2001) e gera dióxido de enxofre, poluente importante na cidade e a sota-vento dela.

O ciclo do fósforo

O fósforo, componente do DNA, do RNA e do ATP, é essencial em todas as formas de vida, principalmente em animais, que o usam para construir ossos e dentes. Embora represente apenas uma pequena fração da massa da maioria das plantas, o fósforo, ao lado do nitrogênio e do potássio, é usado em fertilizantes. O fósforo é bastante escasso na crosta terrestre e age como recurso limitante

4 Ecologia dos organismos urbanos

As propriedades físicas e biológicas das áreas urbanas configuram número, tipo e comportamento dos seres humanos que ali moram ou trabalham. Fatores como água, espaço aberto e poluição determinam quem consegue e viverá em locais específicos. O padrão espacial de urbanização controla comportamentos como a porção das viagens feitas a pé ou de carro. Depois, essas escolhas retroalimentam a configuração do próprio ecossistema.

Todos os organismos têm em comum essa relação recíproca com o meio ambiente, configurando-o e, ao mesmo tempo, sendo configurados por ele. Os ciclos fundamentais do ecossistema, que afetam clima, água e nutrientes, surgem da inter-relação entre as forças humanas e o uso dos organismos. Este capítulo estuda de que maneira entradas, saídas, modificação do hábitat urbano e processos do ecossistema controlam a identidade, a abundância, as características, as interações e a evolução de plantas, animais e micro-organismos urbanos.

Do ponto de vista amplo da Ecologia de Comunidades, as regiões urbanas, com os seus diversos tipos de hábitat e grande entrada de recursos, podem ter nível surpreendentemente alto de biodiversidade de alguns grupos de organismos (seção 4.1). Em parte, a biodiversidade urbana resulta das muitas espécies não nativas que chegam às áreas urbanas e nelas prosperam (seção 4.2). Por causa dessas espécies não nativas, a composição biológica de duas cidades em regiões diferentes do mundo pode ter mais semelhanças entre si do que com as respectivas áreas circundantes. A interação entre espécies pode adotar formas novas, já que é configurada pela disponibilidade alterada de recursos, pela mudança do risco de predação (seção 4.3) e por novas doenças (seção 4.4).

Sobreviver no meio ambiente urbano em surgimento também exige características apropriadas. Alguns organismos, como os pássaros que fazem ninho em penhascos, têm algumas características importantes prévias. Outros se ajustam para lidar com novos estresses (seção 4.5). Conforme as cidades se disseminam mais e se tornam características previsíveis do meio ambiente, pressões constantes configuram a Ecolo-

maior, ainda não se conhece bem o papel da diversidade de espécies. Em áreas experimentais simplificadas, a maior riqueza de espécies vegetais pode aumentar a produtividade e a resiliência contra dificuldades como espécies invasoras (Naeem et al., 1994), embora a generalidade desses efeitos ainda não seja bem compreendida. O sistema urbano, com a elevada entrada de nutrientes e plantas exóticas, pode dar ideias importantes sobre as causas e consequências ecológicas da biodiversidade.

4.2 Espécies invasoras e homogeneização biótica

Para alguns grupos de espécies, as áreas urbanas têm elevada biodiversidade, às vezes maior que a de regiões circundantes. Além dos fatores do hábitat e do ecossistema que foram examinados, essa diversidade maior resulta do estabelecimento de espécies novas originárias de outras regiões do continente ou do outro lado do globo.

Viu-se que as espécies podem ser classificadas com base na capacidade de tolerar hábitats urbanos ou neles prosperar, sendo que, às vezes, os oportunistas urbanos passam a depender da urbanização. Por conta da rede humana de transportes, os oportunistas urbanos têm muitas chances para se dispersar pelas cidades do mundo. Essas espécies difundidas podem contribuir para a similaridade crescente das espécies que vivem em cidades, a chamada *homogeneização biótica*.

Esta seção começa com o exame dos princípios das espécies que determinam quais têm mais probabilidade de se tornarem invasoras e o que faz os hábitats ficarem suscetíveis a invasões. Depois, são observados os padrões e as consequências da invasão de áreas urbanas e conclui-se avaliando se as espécies introduzidas realmente provocaram homogeneização biótica urbana.

4.2.1 Princípios das invasões biológicas

Para se tornar uma espécie invasora, três passos são necessários:

- chegada ou introdução;
- naturalização e sucesso na reprodução;
- disseminação para novas áreas e invasão.

De acordo com esses três passos, três princípios amplos governam quantas e quais espécies invasoras colonizarão uma área.

Chegada

Os locais expostos a mais colonos em potencial terão mais espécies invasoras. Esses colonos podem chegar por conta própria e, nesse

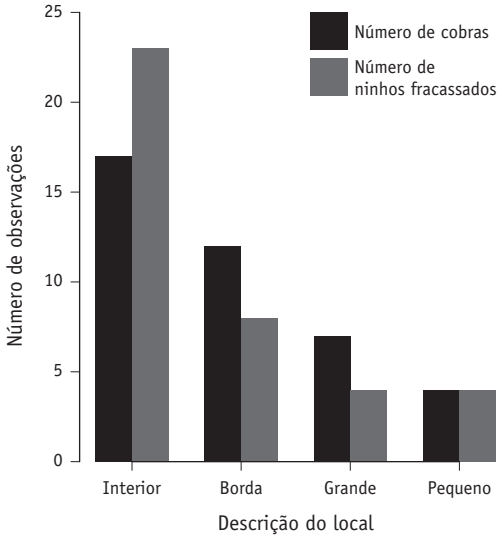


Fig. 4.32 Efeito do tamanho e posição da mancha sobre a abundância de cobras e o fracasso dos ninhos de pássaros
Fonte: adaptado de Patten e Bolger (2003).

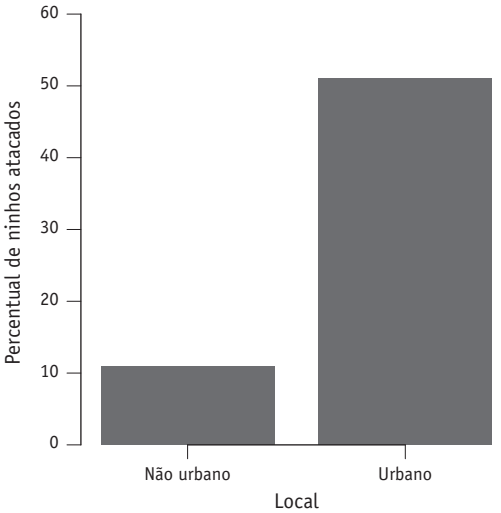


Fig. 4.33 Percentual médio de ninhos atacados pelo parasitismo de ninhada do tordo-de-cabeça-café em locais urbanos e não urbanos
Fonte: adaptado de Burhans e Thompson (2006).

mostraram redução total do número de espécies de artrópodes presentes, e a redução foi maior entre predadores e parasitoides (Denys; Schmidt, 1998). O percentual de herbívoros parasitados foi menor nos locais mais pavimentados (Fig. 4.34).

Em Sydney, na Austrália, as folhas da árvore *Angophora costata* sofreram mais danos em pequenas manchas remanescentes, aparentemente em virtude da menor taxa de ataque de inimigos dos herbívoros desses locais, como mostra a Fig. 4.35 (Christie; Hochuli, 2005).

Qualidade do hábitat

Assim como a fragmentação, a qualidade do hábitat pode alterar as interações entre espécies ao favorecer algumas espécies em vez de outras ou ao provocar mudanças de comportamento. Numa série de hábitats dentro e perto de Washington, capital dos Estados Unidos, a sobrevivência dos ninhos de vários pássaros canoros foi maior em locais com mais superfícies impermeáveis e menor naqueles com maior cobertura de árvores (Ryder et al., 2010). Esse maior sucesso em hábitats de menor qualidade resulta, aparentemente, do número menor de mamíferos predadores como camundongos, esquilos e mesopredadores

Quadro 4.2 Algumas doenças de animais selvagens em populações urbanas

Nome	Descrição	Hospedeiro(s)	Risco humano
Parvovírus canino	Vírus	Cães e raposas	Nenhum
Calicivírus felino	Vírus	Gatos e linces	Nenhum
Raiva	Vírus	Morcegos	Fatal se não tratada
Febre do Nilo	Vírus	Aves	Febre, raramente neuroinvasiva
Mycoplasma gallisepticum	Bactéria	Aves	Nenhum
Borrelia burgdorferi	Bactéria	Pequenos mamíferos	Doença de Lyme
Trichomonas gallinae	Protozoário	Pombos e outras aves	Nenhum
Toxoplasma gondii	Protozoário	Gatos e outros mamíferos	Toxoplasmose
Echinococcus multilocularis	Platelmintos cestoides	Cães e raposas	Equinococose alveolar
Baylisascaris procyonis	Nematódeos	Mamíferos	Encefalite rara, mas fatal
Sarcoptes scabiei	Ácaro	Cães selvagens e domésticos	Casos raros de comichão
Doença da debilidade crônica	Príon	Veados e alces	Nenhum

de diluição, áreas como as periurbanas residenciais com baixa diversidade de roedores podem ter maior prevalência de doença de Lyme (LoGiudice et al., 2003). Além disso, os seres humanos concentrados nessas mesmas áreas enfrentam risco maior de contrair a doença (Bradley; Altizer, 2007).

Efeitos da entrada de recursos urbanos

Para os oportunistas urbanos, as áreas urbanas oferecem fontes abundantes, concentradas e confiáveis de alimentos. A população resultante e concentrada de hospedeiros pode interagir mais, tanto dentro da própria espécie quanto com outras espécies, resultando no aumento da transmissão do patógeno. Os comedouros de pássaros concentram muitos tipos de aves em áreas pequenas. Essa concentração pode não aumentar a taxa de predação de indivíduos porque a existência de mais pássaros dilui o risco de predação ou faz os predadores serem percebidos a tempo de permitir o alerta e a

e o calicivírus felino, menos (Fig. 4.45). A prevalência de vários outros patógenos, como o protozoário *Toxoplasma gondii*, não se alterou (Riley; Foley; Chomel, 2004). Avaliar o grau de contato e transmissão entre animais selvagens e animais de estimação continua difícil.

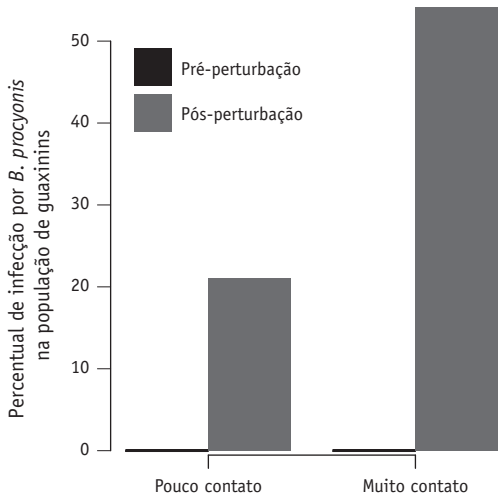


Fig. 4.44 Efeito da alimentação sobre o percentual de guaxinins contaminados com *Baylisascaris procyonis*. Não havia infecção em nenhum dos grupos antes do tratamento alimentar
Fonte: adaptado de Gompper e Wright (2005).

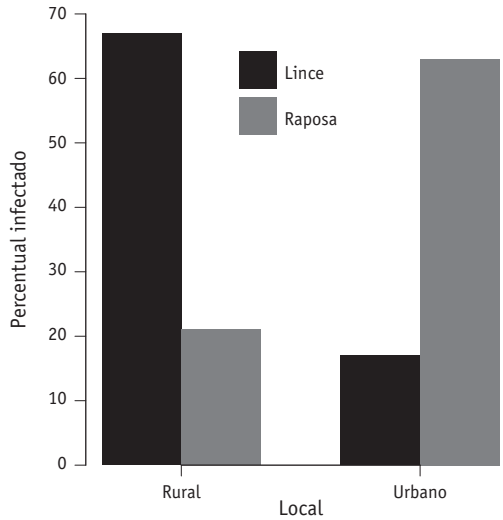


Fig. 4.45 Percentual de raposas e linces com exame positivo para doenças transmitidas por animais domésticos
Fonte: adaptado de Riley, Foley e Chomel (2004).

A comparação entre animais selvagens e asselvajados em dois pequenos parques da Cidade do México encontrou nível uniformemente alto de parvovírus canino, aparentemente em virtude da sua capacidade de subsistir nas fezes. Entretanto, o *Toxoplasma* e os anticorpos contra a raiva foram mais comuns em gatos e cães asselvajados do que em animais selvagens, como mostra a Fig. 4.46 (Suzan; Ceballos, 2005). Nos Estados Unidos, hoje os gatos asselvajados são os vetores primários da raiva (Dauphine; Cooper, 2011).

Como no caso de muitas interações ecológicas, mudar a dinâmica de um patógeno pode criar consequências imprevistas e surpreendentes. A raiva é uma das doenças infecciosas mais fatais que se conhece; contamina e mata muitos animais selvagens e de estimação e constitui risco bem conhecido para seres humanos. Na Europa continental, o

4.5 CARACTERÍSTICAS DE ORGANISMOS URBANOS

Algumas espécies persistem em hábitats urbanos e outras não. O sucesso ou fracasso de determinada espécie depende do seu *fenótipo*, o conjunto de características que determinam como ela interage com o ambiente, inclusive com membros da mesma e de outras espécies. O próprio fenótipo surge da interação dos genes com o meio ambiente e, portanto, as características encontradas nas áreas urbanas são em parte configuradas por reações dos organismos ao ambiente.

Pode-se classificar as características em cinco categorias amplas e às vezes sobrepostas (Fig. 4.48):

i) as *características morfológicas* evidenciam a estrutura física do organismo, como tamanho e formato;
ii) as *características fisiológicas* evidenciam o funcionamento dos organismos, como a capacidade de utilizar recursos ou tolerar estresses ambientais;
iii) as *características comportamentais*, como agressão e escolha do alimento, indicam de que modo o organismo reage ao meio ambiente;
iv) as *características da história de vida* resumem o cronograma de reprodução e sobrevivência, como a época de reprodução, os períodos de fecundidade e a expectativa de vida.
v) as *características sociais* descrevem o modo como os organismos, em geral membros da mesma espécie, interagem entre si.

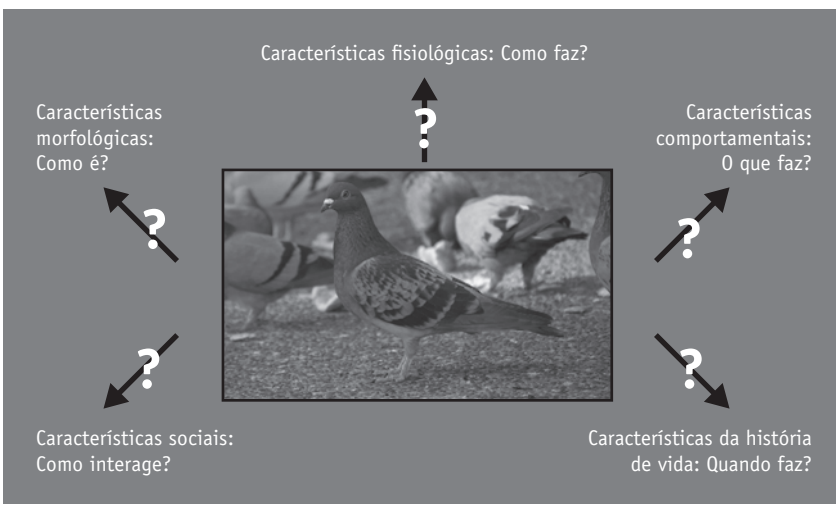
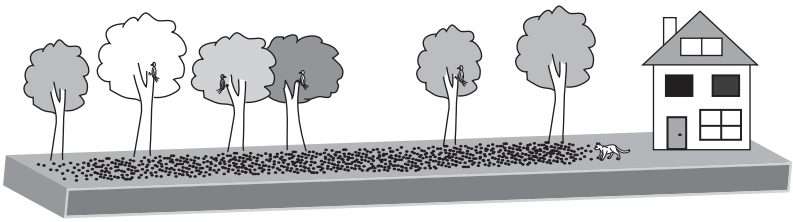
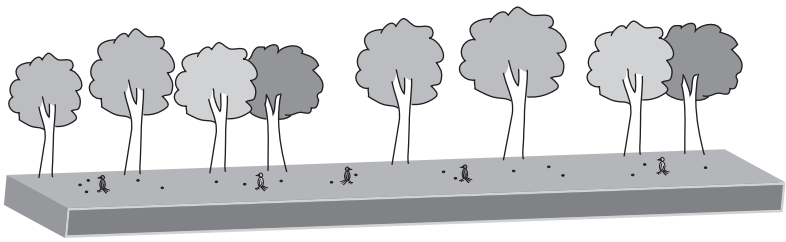


Fig. 4.48 As cinco categorias de características e as principais perguntas que provocam



Local perigoso: muitas sementes não são comidas



Lugar seguro: poucas sementes não são comidas

Fig. 4.61 Densidade de desistência: comportamento esperado de espécies sensíveis a predadores

Em hábitat exposto e potencialmente perigoso, as aves de parques próximos a Phoenix param de procurar sementes em comedouros mais depressa do que em hábitats mais seguros entre os arbustos. Por outro lado, as aves da cidade não só recolhem mais sementes como são indiferentes aos perigos percebidos no hábitat, como mostra a Fig. 4.62 (Shochat et al., 2004). As espécies com densidade de desistência mais baixa também diferem em ambientes urbanos e não urbanos: no deserto, são as espécies pequenas; na cidade, as maiores. As espécies grandes e eficientes como o pombo *Zenaida macroura* têm uma característica comportamental, a baixa densidade de desistência, que lhes dá uma vantagem na competição por exploração, e uma característica morfológica, o tamanho maior, que lhes dá uma vantagem na competição por interferência. Combinadas,

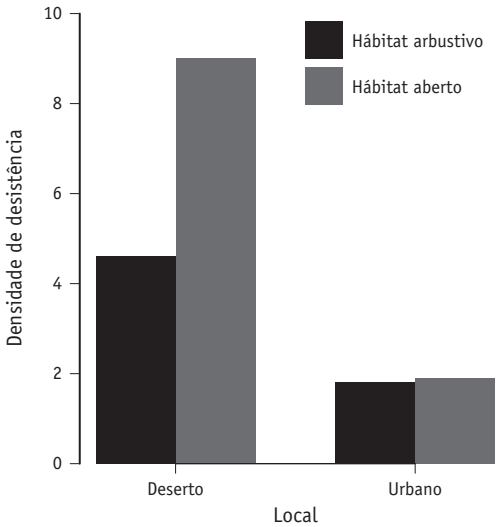


Fig. 4.62 Densidade de desistência de aves urbanas e do deserto
Fonte: adaptado de Shochat (2004).

5 Consequências da Ecologia Urbana

Provavelmente as cidades surgiram quando os seres humanos se juntaram para se proteger e obter alimento. Entretanto, essas aglomerações começaram a alterar as necessidades humanas quase no mesmo momento em que passaram a existir. Novas formas de governo, sociedade e transporte se desenvolveram e, com elas, o início da infraestrutura que define as áreas urbanas modernas. Desse modo, a regulação da população humana não se encaixava mais nos modelos ecológicos de cima para baixo ou de baixo para cima; ela passou a resultar de forças sociais, políticas e econômicas complexas, não da disponibilidade local de alimento ou outros recursos.

Este livro examinou como essa transformação da Ecologia humana altera o funcionamento do ecossistema e a estrutura das comunidades ecológicas que coexistem com os seres humanos no ambiente construído. Essas mudanças são profundas, e vão do modo como as moléculas se movem e são processadas à maneira como as populações interagem e os organismos evoluem, a maioria delas como consequência não intencional de atividades humanas projetadas com outras metas e outros propósitos.

Este capítulo delineia algumas implicações dessas consequências não intencionais do ponto de vista humano. Em primeiro lugar, os habitantes humanos das áreas urbanas, assim como os outros organismos que ali vivem, passaram a sofrer novos tipos de estresse. A primeira seção se concentra nos efeitos da vida urbana sobre a saúde humana, muitas vezes paralelos aos efeitos sobre os outros animais. Esses efeitos sobre a saúde fazem parte de uma série muito maior de efeitos sobre os seres humanos com papel considerável na determinação da qualidade de vida dentro das cidades, inclusive o acesso a recursos sociais e culturais, estética, segurança e igualdade. Toda decisão de planejamento urbano traz consigo implicações tanto para o ecossistema urbano quanto para os seus moradores humanos, que geralmente se associam a sistemas de valores bem diferentes. A maioria dessas questões está além do alcance deste livro, mas os princípios ecológicos lançam nova luz sobre elas. A seção 5.2 examina as decisões políticas sob a perspectiva

dieta rica em alimentos industrializados gordurosos e salgados e pobre em alimentos frescos (Booth et al., 2005). Ter nas vizinhanças uma loja que venda frutas, verduras e legumes frescos prevê o consumo de uma alimentação mais equilibrada (Morland; Wing; Roux, 2002). A obesidade, pelo menos em parte, resulta do consumo de alimentos muito calóricos e se exacerba com a redução do nível de atividade (Anderson; Butcher, 2006). Entretanto, como observado anteriormente, a obesidade realmente não é uma doença urbana.

Efeito de processos do ecossistema urbano

As mudanças do clima, principalmente a ilha urbana de calor, podem criar estresse térmico substancial capaz de levar à morte, principalmente entre idosos e pobres das áreas urbanas (Galea; Vlahov, 2005). As ondas de calor são a maior fonte de mortalidade ligada às condições climáticas nos Estados Unidos (Borden; Cutter, 2008), e a frequência de internação aumenta rapidamente com a subida da temperatura (Shimoda, 2003). O calor pode exacerbar a poluição do ar e facilitar a expansão do alcance de hospedeiros animais e de mosquitos vetores de novas doenças infecciosas (Patz; Olson, 2006).

Os poluentes do ar, como ozônio, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e particulados, se concentram em áreas urbanas (seção 3.4). O efeito resultante sobre a saúde depende do poluente, da duração da exposição e da sensibilidade da pessoa exposta (Frumkin, 2002). A mortalidade ligada ao ozônio aumenta nas cidades em função do nível mais alto de ozônio na semana anterior (Bell et al., 2004). Exercitar-se com particulados finos e ultrafinos amplifica o efeito e pode aumentar a probabilidade de enfartes e arritmias nas horas e dias posteriores à exposição (Sharman; Cockcroft; Coombes, 2004). As crianças, com sistema imunológico imaturo, área pulmonar relativamente grande e hábito de brincar ao ar livre, enfrentam os desafios da asma em vez dos problemas cardíacos dos mais idosos (Byrd; Joad, 2006).

O nível de asma na cidade pode ser o dobro do nível em áreas não urbanas e resultar de uma variedade de causas características do meio ambiente urbano, sendo a poluição do ar uma das principais. Dois experimentos naturais dão alguma ideia da sua importância. Nas Olimpíadas de Atlanta, o tráfego caiu temporariamente em 22% e o ozônio, em 28%, levando a uma queda grande e comparável da internação de pacientes com asma (Friedman et al., 2001). No estado americano de Utah, a greve de uma grande siderúrgica provocou 50% de redução da

ser humano está apenas começando a aprender como sua mente e seu corpo reagem a esses contrastes e como projetar cidades para melhorar a saúde.

5.2 Princípios ecológicos e política urbana

Toda ação humana para planejar ou usar a cidade cria uma série de consequências intencionais ou não. Conseguir que políticas específicas realmente cumpram as metas intencionais é o principal desafio dos planejadores urbanos. Uma nova rua reduzirá os engarrafamentos? Um novo estádio levará desenvolvimento econômico a um bairro decadente? Além da dificuldade de cumprir as metas intencionais, uma grande variedade de consequências não intencionais e muitas vezes inesperadas persegue os planejadores urbanos. A rua nova pode provocar a construção de novas residências e acabar aumentando o tráfego ou isolar um bairro antes vibrante. O estádio novo pode sustentar apenas setores sazonais e acabar exportando riqueza para outras áreas.

Em virtude das características inigualáveis de cada cidade e cada bairro, usar experiências anteriores e modelos computadorizados para prever consequências não intencionais continua a ser, para os planejadores urbanos, ciência e arte ao mesmo tempo. Além disso, muitas consequências resultam menos do planejamento e mais do comportamento humano não planejado. As pessoas escolhem onde morar, quando partir, aonde ir, onde trabalhar e se divertir. As famílias decidem se alimentam pássaros e o que plantam nos gramados e jardins. Embora em geral essas escolhas sigam tendências previsíveis, ações imprevistas podem ter consequências políticas, sociais e ecológicas significativas.

Este livro descreveu e avaliou algumas consequências não intencionais da política urbana e do comportamento humano para ecossistemas, plantas e animais. A ciência da Ecologia Urbana está na infância, e as mudanças complexas criadas por decisões humanas continuam difíceis de prever (Dale et al., 2000). Sem tentar ser abrangente, esta seção traz exemplos de como decisões políticas urbanas afetam processos do ecossistema e das comunidades e conclui com uma discussão dos desafios e oportunidades para a pesquisa ecológica no meio ambiente urbano.

5.2.1 Políticas que afetam hábitats e ecossistemas urbanos

Os seres humanos dominam os fluxos de recursos que entram e saem dos sistemas urbanos, e até mudanças sutis de planejamento

Los Angeles moram perto de parques, por conta do espraiamento criado por bairros ricos com baixa densidade que acompanham os montes Santa Monica sem serem adjacentes a eles (Wolch; Wilson; Fehrenbach, 2005).

Embora muitos parques preservem hábitats que, relativamente, não foram afetados por modificações humanas, outros são criados por meio da restauração de hábitats. O Reino Unido tem um grande programa de regeneração urbana em Birmingham (Donovan; Sadler; Bryson, 2005). O Eastside é uma área industrial que, atualmente, tem muitos terrenos abandonados, e os planejadores pretendem usá-la para ampliar o centro da cidade com fins de aprendizado, lazer e proteção do patrimônio histórico. Os hábitats atuais são edificações desocupadas, colonizadas por algumas aves e morcegos, e vários tipos de espaços abertos abandonados, ao lado de parques manejados dominados por gramíneas e plantas lenhosas introduzidas. Os terrenos abandonados costumam ter maior diversidade de plantas e insetos do que os terrenos manejados. Para preservá-la, os planejadores propuseram ideias novas como telhados *marrons* para substituir os campos abandonados enquanto estes são reaproveitados e a redução do corte da grama e do manejo nos espaços verdes mais tradicionais.

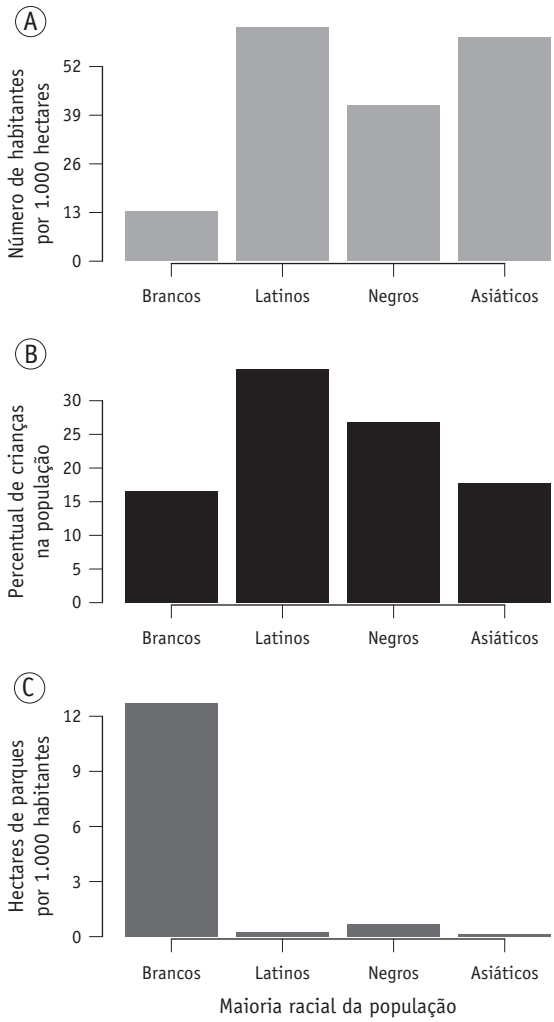


Fig. 5.9 (A) Densidade populacional do bairro, (B) percentual de crianças e (C) acesso a parques em bairros com populações majoritárias diferentes em Los Angeles
Fonte: Wolch, Wilson e Fehrenbach (2005).

O ciclo urbano da água

As áreas urbanas, com a sua extensa superfície impermeável, apressam o movimento da água, principalmente durante e após

número de cruzamentos de ruas constitui um previsor ainda melhor. Os cruzamentos podem concentrar perturbações, poluentes e sedimentos diretamente acima e ao longo do canal (Alberti et al., 2007) e dar oportunidade ao desenvolvimento de novas abordagens na construção civil.

O controle de inundações combina elementos que aceleram o fluxo de água com métodos para armazenar temporariamente os picos de fluxo, geralmente com *bacias de retenção*, que podem ser de dois tipos: *on-line* ou *off-line* (Fig. 5.10). Embora projetados com o mesmo propósito, esses tipos têm consequências hidrológicas e ecológicas diferentes.

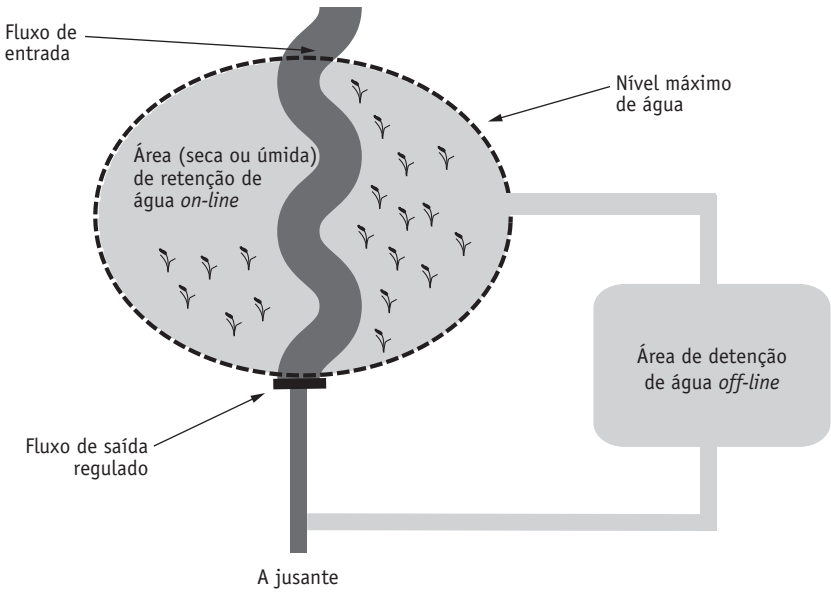


Fig. 5.10 Os dois tipos de bacia de retenção

- As bacias *on-line* confinam o fluxo do rio continuamente ou durante enchentes. Esse confinamento tende a aumentar a temperatura da água e a deposição de sedimentos, pode impedir a migração de peixes a montante ou a jusante, facilita a multiplicação de algas e pode servir de ponto de introdução de espécies não nativas.
- As bacias *off-line* se enchem durante inundações e depois, aos poucos, liberam a água de volta ao sistema de cursos d'água conforme o nível baixa (detenção) ou permitem que a água se infiltre aos poucos abaixo da superfície ou evapore (retenção). Por só coletarem água quando necessário, as bacias *off-line* tendem a produzir menos consequências não intencionais, mas podem aquecer a água e sustentar espécies não nativas.

também cria um conjunto próprio de dificuldades e compensações (Quadro 5.1).

Dinâmica urbana de nutrientes

Cada nutriente, seja carbono, nitrogênio ou fósforo, tem fontes e efeitos diferentes sobre o ecossistema. Para ilustrar o pensamento sobre a política urbana de nutrientes, esta seção se concentra no nitrogênio, nutriente com o ciclo biológico mais complexo e um dos graus mais altos de amplificação humana (Vitousek et al., 1997).

As políticas para reduzir o fluxo de nitrogênio se comparam às projetadas para a água urbana: retardar a entrada, controlar a saída e aumentar a reciclagem (Bernhardt et al., 2008).

- Reduzir a importação de nitrogênio envolve cada fonte antropogênica, principalmente os fertilizantes, o esgoto e as emissões de combustíveis fósseis. Os proprietários de imóveis e outros manejadores de gramados podem ser instruídos a usar menos fertilizante. Estimular o transporte público ou as caminhadas pode reduzir as emissões. Atualmente, as leis de controle da poluição nos Estados Unidos não regulamentam as emissões veiculares de amônia, fonte substancial de nitrogênio urbano e possível alvo de controle futuro.
- Tratar melhor as águas residuais inclui o acréscimo de níveis potencialmente caros de tratamento e a antiga tradição de reciclar dejetos humanos como fertilizante agrícola. Entretanto, em muitas cidades grandes, os campos agrícolas são pouquíssimos ou demasiado distantes, e o transporte de grande quantidade de dejetos parcialmente tratados pode provocar risco de doenças.
- Melhorar a retenção e a desnitrificação se compara às abordagens para reduzir o escoamento de águas pluviais com coleta local, biorretenção e restauração de charcos e zonas ripárias. Entretanto, a capacidade de um charco de desnitrificar e absorver amônio e nitratos pode ser superada pela carga excessiva de nitrogênio ou por condições aeróbicas criadas pela urbanização. Nesse caso, os charcos podem liberar formas indesejáveis de nitrogênio, como amônia volátil, além do N_2 inerte (seção 3.3). A *restauração de cursos d'água*, que traz à superfície cursos d'água antes enterrados, pode reduzir a canalização, desacelerar o fluxo de água e permitir mais tempo e mais área para a desnitrificação em zonas ripárias (Cadenasso et al., 2008). A desnitrificação também libera na atmosfera óxidos de nitrogênio que participam da

poluído de junho no hemisfério norte (Yang; Yu; Gong, 2008), mas ainda assim só removem uma pequena fração da carga total de poluição (Fig. 3.40). A carga mais baixa de particulados observada em algumas áreas recreativas (Jim; Chen, 2008) se deve à combinação de remoção pela vegetação, menos fontes (como os veículos) e alterações do movimento do ar.

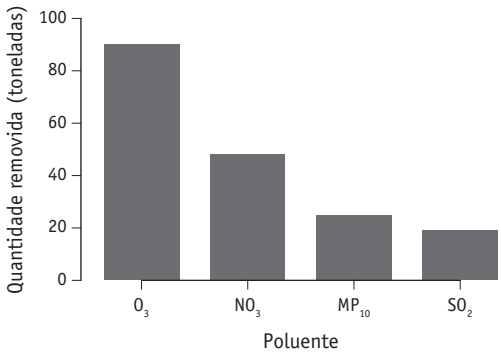


Fig. 5.12 Componentes da poluição removidos por 20 ha de telhados verdes. Entretanto, o percentual total de poluição atmosférica removida é pequeno
Fonte: adaptado de Yang, Yu e Gong (2008).

5.2.2 Políticas que afetam a Ecologia de Populações e Comunidades

A maioria dos animais e plantas que habitam o meio ambiente urbano atrai pouca ou nenhuma atenção dos seres humanos. Grande parte das políticas, portanto, se concentra na minoria perceptível, preservando espécies desejáveis ou eliminando as indesejáveis. Essas políticas costumam produzir efeitos indiretos sobre as espécies menos visíveis. O modo como as políticas alteram o funcionamento mais sutil de organismos específicos em sua fisiologia, comportamento, interações e evolução mal começou a receber a atenção dos decisores políticos (Jokimäki et al., 2011).

Biodiversidade urbana

O hábitat é fundamental para a biodiversidade. O espaço habitável em áreas urbanas pode ser preservado, manejado ou interligado de modo a promover espécies-alvo. Jardins e quintais podem ser manejados para promover a biodiversidade, principalmente a biodiversidade nativa.

A biodiversidade perto de residências pode ser ativamente estimulada com a criação de hábitats para organismos específicos. Por exemplo, espécies nativas de pássaros perto de Tucson, no Arizona, preferem residências cujos jardins tenham vegetação nativa (Hope et al., 2003). No clima mais úmido da Inglaterra, vários métodos para aumentar a biodiversidade dos quintais foram testados, com graus variados de sucesso (Gaston et al., 2005):

i) a criação de ninhos artificiais para abelhas e vespas solitárias conseguiu recrutar mais espécies;

Glossário

Abiótico: componentes não vivos de um ecossistema, como radiação solar, água e nutrientes.

Abundância: número de indivíduos de uma espécie presentes num ecossistema. A abundância relativa é a proporção dessa espécie.

Adaptação: processo evolutivo pelo qual uma espécie se ajusta melhor ao ambiente por meio da seleção natural.

Adaptada ao meio urbano: espécie que tolera seres humanos e fatores antropogênicos, mas não precisa deles para a persistência em hábitats urbanos.

Adaptativa: reação apropriada ao ambiente, que melhora a adequação de um organismo.

Aerossol: suspensão em meio gasoso de pequenas partículas sólidas ou líquidas, como água, pólen ou fumaça.

Água cinza: resíduo de água de uso doméstico, com exceção do esgoto, que pode ser reaproveitada na irrigação.

Albedo: percentual de radiação, como a energia solar, refletida por um objeto. O albedo varia de 0 (uma superfície preta que absorva 100% da radiação que recebe) a 1 (uma superfície branca que reflita 100% da radiação que recebe).

Ambiente biótico: Organismos, plantas e animais que compartilham e modificam um hábitat.

Ambiente construído: ambiente construído ou infraestrutura construída pelo homem.

Ambiente físico: condições circundantes de um organismo, com exceção das coisas vivas.

Anaeróbico: sem oxigênio, por exemplo, um ambiente onde não haja presença de oxigênio ou um organismo que viva sem ele.

Aptidão: sucesso de um organismo na sobrevivência e na reprodução e, portanto, na transmissão dos seus genes à geração seguinte.

Aquífero: área de águas subterrâneas confinadas por camadas de rochas permeáveis ou impermeáveis e da qual é possível extrair água.

Área de biodiversidade: área necessária para manter a biodiversidade nativa definida por cálculos de pegada ecológica.

[...] ao mesmo tempo envolvente e didático [...] o livro pode ser lido do começo ao fim como um romance, mas também está organizado de modo a ser um excelente livro--texto, proporcionando um olhar científico de forma agradável. Até onde eu saiba, esta é uma obra sem igual, que sem dúvida me deixa com vontade de lecionar um curso como este ou, pelo menos, de participar como aluno. Os autores realizaram um trabalho estupendo e o leitor será muito bem recompensado.

Simon A. Levin, Universidade de Princeton

Ecossistemas urbanos trata da complexa inter-relação dos processos ecológicos nas cidades e dos reflexos – muitas vezes imprevisíveis – das atividades antrópicas nesse ambiente. Como as espécies se adaptam à poluição, à iluminação artificial e até mesmo às ilhas de calor? Qual o impacto da Ecologia Urbana sobre a saúde pública, o nível de estresse e a violência nas cidades?

A abordagem com rigorosos conceitos ecológicos do meio ambiente urbano é surpreendente e ao mesmo tempo fascinante, ao descortinar esse conhecido-desconhecido ecossistema urbano. Os conceitos de Ecologia Urbana são reforçados por meio de exemplos internacionais emblemáticos e uma série de questões, exercícios e atividades práticas. Com uma linguagem clara e didática, o livro nos ajuda a compreender melhor as características únicas dos ecossistemas urbanos e discute como podemos aplicar esses conhecimentos em melhores políticas públicas e planejamento urbano.

Frederick R. Adler é professor dos departamentos de Biologia e Matemática da Universidade de Utah. Em 2009, recebeu o Prêmio de Mentor de Destaque dessa instituição.

Colby J. Tanner é atualmente professor-pesquisador visitante do Departamento de Ecologia e Evolução da Universidade de Lausanne.

ISBN 978-85-7975-165-3

9 788579 751653