Introdução ao Desenvolvimento Sustentável



Centro de Desenvolvimento Sustentável UnB

UnB

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

Introdução ao desenvolvimento sustentável [livro eletrônico] / [editores Tálita Floriano dos Santos...[et al.]]. -- 1. ed. -- Brasília, DF : Centro de Desenvolvimento Sustentável, 2025.
PDF
Outros editores: Cristiane Gomes Barreto, Mauro Guilherme Maidana Cappellaro, José Augusto Drummond.
Bibliografia.
ISBN 978-65-85259-38-5
1. Desenvolvimento sustentável 2. Meio ambiente 3. Sustentabilidade ambiental I. Santos, Tálita Floriano dos. II. Barreto, Cristiane Gomes. III. Cappellaro, Mauro Guilherme Maidana. IV. Drummond, José Augusto.

25-266925 CDD-333.9516

Índices para catálogo sistemático:

1. Meio ambiente : Conservação e proteção 333.9516
Aline Graziele Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

ISBN: 978-65-85259-38-5
9 786585 259385

Expediente

Editores

Tálita Floriano dos Santos

Cristiane Gomes Barreto

Mauro Guilherme Maidana Cappellaro

José Augusto Drummond

Diagramação/Projeto gráfico/Infografia

Lidiane Holanda

Revisão

Stela Máris Zica

Colaboradores

Alessandro Roberto de Oliveira
Alexandre Strapasson
Ana Claudia Sanches Baptista
Ana Karine Pereira
Andrei Cechin
Andrés Burgos
Arnoldo Santos de Lima
Bernardo Carlos Spaulonci Chiachia Matos de Oliveira
Carlos Hiroo Saito
Cristiano Lenzi
Daniela Gonçalves Mattar
Daniela Nogueira
Diego Pereira Lindoso
Doris Sayago
Edel Nazaré Santiago de Moraes
Elimar Pinheiro do Nascimento
Fabiano Toni
Fernando Paiva Scardua
Gleidson Oliveira Silva
Izabel Cristina Bruno Bacellar Zaneti
José Luiz de Andrade Franco
Lígia Chicareli Kawata
Louis Philippe Patrick de Jongh Filho
Marcela Ibiapino
Marilia Telma Manjate
Maurício Amazonas
Nayara Rodrigues Marques
Oscar de Moraes Cordeiro Netto
Paulo Celso dos Reis Gomes
Renata Camargo de Araújo
Renata Távora
Romero Gomes P. da Silva
Saulo Rodrigues Filho
Stéphanie Nasuti
Tahinah Martins
Yasmin Oliveira

INTRODUÇÃO AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Tálita Floriano dos Santos

Cristiane Gomes Barreto

Mauro Guilherme Maidana Cappellaro

José Augusto Drummond

Universidade de Brasília

Centro de Desenvolvimento Sustentável

Este livro foi patrocinado pela Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos (FINATEC)

FINATEC Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos

Centro de Desenvolvimento Sustentável

UnB

SUMÁRIO

PREFÁCIO 5

CARTA DOS EDITORES 14

CONCEITOS INICIAIS 16

1. O ANTROPOCENO E A GRANDE ACELERAÇÃO 17
2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: A TRAJETÓRIA DE UM CONCEITO 31
3. CIÊNCIA DA SUSTENTABILIDADE 48
4. CRÍTICAS AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 59
5. ALTERNATIVAS AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: O PÓS-DESENVOLVIMENTO 70

FUNDAMENTOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 82

6. ECOLOGIA E SUSTENTABILIDADE 83
7. ECONOMIA E SUSTENTABILIDADE 93
8. SOCIEDADE E MEIO AMBIENTE 103
9. POLÍTICAS PÚBLICAS E SUSTENTABILIDADE 114

TÓPICOS CONTEMPORÂNEOS 125

10. BIODIVERSIDADE E ÁREAS PROTEGIDAS 126
11. ÁGUA E SUSTENTABILIDADE 135
12. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SUSTENTABILIDADE: PARTE I 142
13. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SUSTENTABILIDADE: PARTE II 152
14. CIDADES SUSTENTÁVEIS 162
15. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS 168
16. ENERGIA E SUSTENTABILIDADE 178
17. EDUCAÇÃO AMBIENTAL 187
18. INJUSTIÇA, RACISMO, DIVERSIDADES E MEIO AMBIENTE 196
19. GÊNERO E SUSTENTABILIDADE 207
20. GOVERNANÇA AMBIENTAL 213
21. REDES E SUSTENTABILIDADE 221
22. ESG: ENVIRONMENTAL, SOCIAL AND GOVERNANCE 230
23. ECOLOGIA INDUSTRIAL OU O USO EFICIENTE DE RECURSOS NATURAIS 240

SEÇÃO

02

FUNDAMENTOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



6. ECOLOGIA E SUSTENTABILIDADE

Cristiane Gomes Barreto[1]
José Augusto Drummond[1]
Fernando Paiva Scardua[2]

Resumo

Este capítulo se dedica a identificar os principais autores e conceitos pertencentes ao campo epistemológico da ecologia para entender como eles podem ser mobilizados nas reflexões sobre o desenvolvimento sustentável (DS). Primeiro o texto traça um percurso histórico da ecologia e das suas bases teóricas e metodológicas. Em seguida ele discorre sobre alguns autores, conceitos e estudos que exemplificam modelos ecológicos e provocam reflexões sobre as relações entre as sociedades humanas e o ambiente natural. Ao final do capítulo, será possível responder às seguintes perguntas: (i) Qual é o campo científico da ecologia?; (ii) Quais são os seus principais conceitos e autores?; e (iii) Quais as principais contribuições que a ecologia pode dar para o campo do DS e da sustentabilidade?

O que estuda a ecologia?

A ecologia é a ciência do oikos, da organização do planeta Terra. Ela se dedica a descrever e analisar os sistemas naturais, focalizando os seus componentes e as relações mútuas entre eles. O ecólogo estadunidense Eugene Odum (1913-2002) classificou a ecologia como uma área de especialização da biologia, dedicada a estudar as relações entre os diversos táxons (bactérias, insetos, aves, etc.) e o ambiente físico em que eles vivem. O naturalista alemão Ernst Haeckel (1834-1919), discípulo de Charles Darwin (1809-1882), entusiasta e fundador da ecologia, a definia de forma bem parecida: "a ciência capaz de compreender a relação do organismo com o seu ambiente".

Na sua origem, a ecologia buscava entender as relações entre os seres vivos e o seu ambiente – vivo e não vivo – a partir da dinâmica de populações, das extinções, das migrações, das relações tróficas e de tantos outros fenômenos naturais que ocorrem independentemente da intervenção humana. A supressão dos seres humanos nos estudos ecológicos clássicos se justificava pela necessidade de compreender esses fenômenos naturais. Além disso, a supressão oferecia parâmetros para medir o papel real dos humanos nas mudanças dos sistemas ecológicos. Era necessário entender o funcionamento, as dinâmicas, os padrões de distribuição e abundância das espécies considerando todo o seu processo de gênese e toda a sua evolução na Terra, condicionados ao longo de centenas de milhares ou milhões de anos. Por outro lado, a espécie humana, por mais que atualmente seja capaz de provocar mudanças significativas nos padrões da natureza, apareceu no planeta apenas recentemente. Portanto, as suas interferências são recentíssimas do ponto de vista da história evolutiva das bactérias, fungos, insetos, plantas e animais em interação com o clima, a geologia, a hidrologia e outras contingências biofísicas.

1 Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília
2 Centro de Estudos Avançados Multidisciplinares, Universidade de Brasília

Dito de outra forma, a natureza passou por inúmeras mudanças e essas mudanças criaram padrões que a ecologia se dedica a decifrar. Ao entender essa história evolutiva, constatamos que a ideia, bem-intencionada e que já norteou muitos planos e reivindicações ambientalistas, de alcançar um "equilíbrio ecológico", não faz sentido diante de tantas transformações que ocorreram antes mesmo da existência dos atos e artefatos humanos. A diversidade e os padrões da natureza resultam dessas transformações. As concepções de equilíbrio e estabilidade nos sistemas naturais são abstrações geradas no contexto de um curto espaço do tempo geológico – o Holoceno – em que a humanidade evoluiu e prosperou graças a uma relativa estabilidade de condições que a beneficiaram. Por isso é que as ideias de equilíbrio e estabilidade são tão sedutoras para os humanos.

Em que pese essa opção da ecologia por suprimir os humanos quando do seu surgimento como ramo da ciência, foi inevitável que os cientistas percebessem e lidassem com as fortes interferências mútuas entre a sociedade humana e a natureza, num aprendizado contínuo e interdisciplinar que colabora para as reflexões sobre as crises globais da sustentabilidade.

Lições da ecologia para o desenvolvimento sustentável

Diversas lições sobre as dinâmicas socioambientais vieram da observação e reflexão de cientistas naturais sobre as extinções locais de espécies, a dinâmica de populações, as relações tróficas, a capacidade de suporte, entre outras.

Os fabricantes de desertos

Foi nas primeiras décadas do século XX que alguns fenômenos, antes entendidos como naturais, provocaram reflexões sobre as relações entre as ações humanas e as dinâmicas da natureza. Nos anos 1930 destrutivas tempestades de areia (chamadas popularmente de *dust bowl*) assolaram as pradarias das planuras centrais do sul dos Estados Unidos. Provocaram o êxodo de dezenas de milhares de famílias, a perda de solos, cultivos e animais domésticos, dificuldades econômicas duradouras e um rastro de destruição de ecossistemas. Apesar de essas tempestades terem sido inicialmente interpretadas como fenômenos naturais, estocásticos, o ecólogo estadunidense Paul Sears (1891-1990) comprovou que elas resultaram de interferências desastrosas dos humanos sobre o solo, numa região de ecossistemas frágeis e tendentes à desertificação (Sears, 1959). A vegetação, o solo, o clima e até mesmo a agricultura de povos originários interagiram na região de forma estável por muitos séculos, mas isso mudou com a chegada dos europeus. O seu aparato tecnológico intensificou a agricultura: ele incluiu arados metálicos, maquinário, cultivos dependentes de chuvas e a agricultura comercial, uma combinação inapropriada para a região semiárida. Os novos agricultores e as suas tecnologias, por onde passavam, atuaram como "fabricantes de desertos", nas palavras de Sears. Nesse seu estudo sobre as origens das tempestades, ele deixou evidente como as dimensões social, econômica e ambiental se interferem mutuamente.

A ecologia populacional

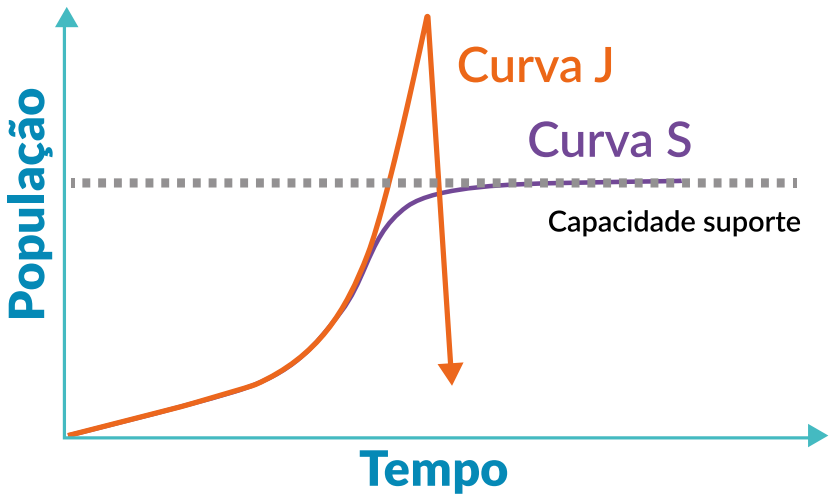
Esta é uma área da ecologia que provocou reflexões e debates polêmicos, especialmente quando aplicada às sociedades humanas. Os principais modelos dessa área derivaram de observações de campo. Essa temática nasceu de um experimento acidental, envolvendo as renas da ilha St. Matthews, no Alasca, num caso que se

tornou clássico e que proporcionou um primeiro esboço dos modelos de ecologia populacional. Em 1944, a guarda costeira estadunidense introduziu 29 renas (*Rangifer tarandus*) na ilha, como reserva eventual de proteína para alimentar as tripulações dos navios que passassem nas proximidades. A ilha era coberta de gramíneas; os líquens que cresciam sobre elas eram o alimento preferido das renas. Esse recurso era abundante e a competição por ele foi inicialmente fraca. No entanto, a ilha não tinha predadores e nem outros animais que competissem pelos líquens. Por isso as renas se reproduziram rapidamente. Biólogos constataram que em 1963 a ilha hospedava uma população de mais de 6 mil indivíduos. No entanto, em 1965, ao retornarem à ilha, os mesmos biólogos encontraram apenas 42 renas vivas, sendo 41 fêmeas e um macho infértil, vivendo em meio a pilhas de esqueletos e carcaças das demais renas, mortas pela fome, segundo revelou o exame de ossadas e carcaças. Poucos meses depois, sem condições de se reproduzirem, a população de renas se extinguiu (Klein, 1968).

O biólogo estadunidense David Klein (1927-2020), que estudou esse fenômeno, discutiu duas hipóteses para a mortandade das renas: (i) que as gramíneas sofreram um sobrepastoreio, acima da sua capacidade de reposição; e (ii) que o inverno de 1963, mais rigoroso, fez escassear as gramíneas a ponto de não haver alimentação suficiente para as renas. A pesquisa de Klein (1968) subsidiou a elaboração de modelos de crescimento populacional para alguns grupos de animais, mas esses modelos permitiram levantar também questões pertinentes à dimensão social/humana, à disponibilidade de recursos e aos limites dos ecossistemas – em resumo, à capacidade de suporte de os ambientes naturais sustentarem populações humanas.

A representação gráfica da dinâmica populacional das renas de St. Matthews mostra uma relação inicialmente exponencial com o tempo, expressa em uma curva com formato de "J", seguida de uma queda vertical. Contudo, outros estudos ecológicos identificaram padrões diferentes de crescimento populacional, representados graficamente por outro tipo de curva, de formato sigmoidal. Normalmente essa curva se limitava a um patamar, no qual a população parecia entrar num equilíbrio dinâmico ou em estabilidade. Esse formato se aproxima do que seria a letra "S", conforme é ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Modelo logístico (em roxo), modelo exponencial (em vermelho) do crescimento populacional e o limite (tracejado) da capacidade de suporte do ambiente natural.



Fonte: Elaboração dos Autores

Esses dois tipos de curva representam os padrões de crescimento populacional exponencial (J) e logístico (S) registrados nas populações naturais. Enquanto a primeira curva registra um crescimento sem restrições ambientais, a segunda tem um "teto" determinado por recursos limitantes, teto este que expressa a capacidade de carga ou capacidade de suporte (K, *carrying capacity*) do ambiente para a população da espécie estudada. Em outras palavras, essa capacidade é a quantidade máxima de indivíduos de uma determinada espécie que um particular ambiente natural pode sustentar. Os estudiosos podem desenvolver modelos para identificar a capacidade de suporte de determinadas populações ou comunidades que vivem em determinadas formações ecológicas.

Outra lição extraída desses modelos da ecologia populacional é a seguinte: se o crescimento da população de qualquer organismo superar a capacidade de carga do ambiente natural (a população máxima) que o ecossistema consegue suportar – fornecendo alimento, espaço, abrigo e outros recursos –, essa população pode sofrer grandes perdas por motivo de fome e competição, ou até mesmo a extinção local, como foi o caso das renas na ilha de St. Matthews.

Tendo em vista isso, cabe fazer uma pergunta intrigante: qual é a tendência da curva de crescimento da população humana? Nas últimas décadas vários ecólogos fizeram essa pergunta. As suas respostas continuam a provocar debates acalorados nos fóruns do DS.

Capacidade de suporte e a contribuição da ecologia para o conceito de desenvolvimento sustentável

A ecologia define capacidade de carga (*carrying capacity*) como "a população máxima de um organismo que um particular ambiente natural ou ecossistema pode sustentar" sem que esse ambiente ou ecossistema entre em deterioração ou colapso (Allaby, 1993, p. 73). O conceito nasceu a partir dos estudos dos fluxos de energia e nutrientes medidos em ecossistemas simples, como pequenos lagos de água doce, pesquisados pioneiramente pelo ecólogo G. Evelyn Hutchinson (1903-1991) ainda nas origens da moderna ciência da ecologia.

Nesses ecossistemas, um ecólogo, usando várias métricas:

(i) *mede a entrada de energia solar (origem de toda a dinâmica da vida em todos os ecossistemas) que incide sobre o lago;*

(ii) *identifica as espécies residentes que formam os vários níveis tróficos;*

(iii) *mede as perdas que a energia solar incidente sofre nas diversas etapas do seu fluxo em que ela se transforma na biomassa dessas espécies residentes (micro-organismos, plantas, animais) ou se dissipa, e*

(iv) *prevê/mede quantitativamente a produção possível e concreta de biomassa no lago e a sua distribuição entre as populações de micro-organismos, plantas e animais desses diversos níveis.*

Esse procedimento pode ser aplicado, com adaptações e aproximações, para ecossistemas mais complexos. É assim que um ecólogo determina a capacidade de carga, ou a capacidade que os ecossistemas têm para criar e "sustentar" as populações dos seus diversos componentes vivos. A determinação da capacidade de suporte, por sua vez, indica as populações máximas duráveis (ou sustentáveis) das

espécies dos diferentes níveis tróficos que podem subsistir no ecossistema estudado. Intencionalmente, esses estudos pioneiros da ecologia não levavam em conta as possíveis interferências humanas capazes de reduzir ou aumentar as capacidades de suporte dos ecossistemas estudados.

Por iniciativa de alguns cientistas naturais, o conceito de capacidade de suporte passou mais tarde a ser aplicado também às sociedades humanas. Foi o caso dos biólogos estadunidenses Paul Ehrlich (1932-) e Anne Ehrlich (1933-), em seu livro *The Population Bomb* (A Bomba Populacional) (Ehrlich; Ehrlich, 1968). O tema central dessa obra polêmica foi a relação entre a quantidade de pessoas e a quantidade de recursos disponíveis no planeta. A pergunta central dos autores foi: quantas pessoas poderiam coexistir na Terra sem comprometer a capacidade dos ecossistemas de sustentá-las? O casal Ehrlich trouxe más notícias para os humanos. Os seus achados, inferências e conclusões desencadearam polêmicas e refutações, além de apoios, dividindo os envolvidos em campos opostos.

Anos depois, na década de 1980, na esteira dessa polêmica, a ideia da capacidade de suporte foi apropriada pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) da ONU, liderada pela norueguesa Gro Brundtland, para definir o DS. A CMMAD aplicou o conceito de capacidade de suporte com um viés bem específico: o foco recaiu sobre o número de humanos que os ecossistemas poderiam sustentar, sem apoio em medições ou estudos empíricos.

Definir a capacidade de suporte da Terra é evidentemente um exercício muito complexo. Ainda assim, há cientistas que se dedicam a estudar modelos de sistemas de limites críticos e que se esforçam para compreender e definir os limites dos sistemas naturais de alta complexidade. Uma equipe liderada pelo cientista sueco Johan Rockström (1965-), do Stockholm Resilience Centre, da Suécia, e pelo cientista australiano Will Steffen (1947-2023), da Australian National University, definiu nove sistemas planetários fundamentais e estudou as suas fronteiras ou limites. Os nove sistemas são: (i) biodiversidade e as suas perdas; (ii) mudanças climáticas; (iii) ciclos biogeoquímicos (ciclo do nitrogênio e ciclo do fósforo); (iv) usos abusivos da terra; (v) acidificação dos oceanos; (vi) mudanças no uso da água; (vii) degradação da camada de ozônio; (viii) emissão de aerossóis para a atmosfera; e (ix) poluição química (Rockström et al., 2009; Steffen *et al.*, 2015).

Esses estudos revelaram que já teriam sido ultrapassadas as fronteiras de quatro desses nove sistemas essenciais para a vida humana na Terra: mudanças climáticas, perda de integridade da biosfera, mudança do sistema terrestre e alteração de ciclos biogeoquímicos (fósforo e nitrogênio). Se alguns limites fundamentais já foram ultrapassados, cabem duas perguntas: como os nossos modos de vida e o nosso crescimento ainda podem ser sustentados? Por que não houve um colapso evidente? A resposta pode ser fornecida a partir de uma melhor compreensão de alguns conceitos da teoria e dinâmica de sistemas, na seção a seguir.

Sistemas ecológicos: homeostase e resiliência

A partir da história das renas em St. Matthews e do inquietante padrão de acelerado crescimento populacional humano, cabe levantar outra questão: quais são as propriedades que determinam a capacidade de os ecossistemas se manterem estáveis? A resposta pode ser explorada sob o viés da abordagem sistêmica.

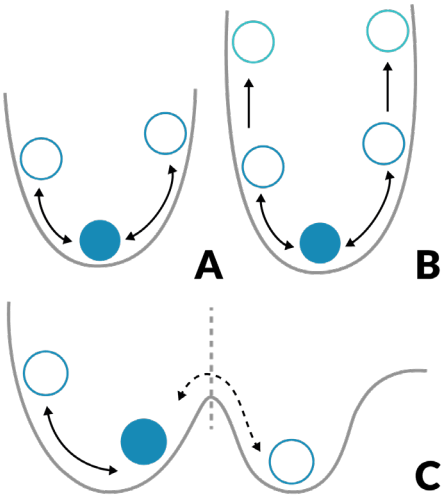
Como visto, a natureza se construiu e se reconstruiu sob a égide de mudanças e transformações. Mesmo a relativa estabilidade que marcou o Holoceno foi perturbada por alterações cíclicas, desequilíbrios e compensações, como as glaciações. Essas

variações ocorrem dentro de uma faixa de estabilidade, o que a abordagem sistêmica chama de homeostase. Em outras palavras, a homeostase é um equilíbrio dinâmico, no qual os desequilíbrios são compensados por mecanismos de retroalimentação (*feedback*), de forma que, ao longo do tempo, as condições gerais se mantêm dentro dos limites de um padrão de variação.

Resiliência é uma medida da persistência de sistemas e de sua capacidade de absorver mudanças e perturbações, e ainda manter as mesmas relações entre populações ou variáveis de estado. A resiliência determina a persistência de relacionamentos dentro de um sistema e é uma medida da capacidade desse sistema de absorver mudanças de variáveis de estado, conduzindo variáveis e parâmetros, e ainda persistir (Holling, 1973).

Uma forma gráfica de visualizar a homeostase é representada no diagrama *ball-in-cup* da Figura 2, quando uma esfera continua a residir em um vale, apesar das oscilações.

Figura 2 – *Modelo ball-in-cup* representa a homeostase na situação (A), menor resiliência, e (B) maior resiliência; (C) representa a mudança de estado, com a quebra da resiliência.



Fonte: Elaboração dos Autores

Cada sistema, seja ele uma população, uma comunidade ou um ecossistema, tem uma faixa de variação que pode ser maior ou menor, conforme representada pela profundidade do copo (Figura 2A e 2B). Quanto maiores forem a diversidade de relações e a complexidade dos mecanismos de retroalimentação, maior será a profundidade do copo e maior será a capacidade de o sistema se manter nas condições de homeostase no caso de ocorrer algum distúrbio externo. É essa capacidade, definida como "resiliência", que confere maior ou menor capacidade de os ecossistemas se manterem estáveis. Quando a resiliência é alterada, a estabilidade pode mudar por causa de intervenções externas e levar a um novo regime (Figura 2C).

Mas cabe perguntar: o que pode influenciar a resiliência de um determinado ecossistema? O grande "segredo" da resiliência de um sistema está numa propriedade intrínseca ao sistema: a diversidade, seja dos seus componentes, seja das relações estabelecidas entre esses componentes. Nos ecossistemas, a biodiversidade e a complexidade trófica são as características centrais que conferem resiliência e, em última análise, uma maior capacidade de eles se manterem estáveis.

Essa é uma das razões pelas quais a conservação da biodiversidade é tão importante. Diante das crises globais de extinções de espécies, poluição e mudanças climáticas, entre outras, manter a diversidade de espécies seria uma forma de resistir a essas pressões sem perder a estabilidade dos ecossistemas.

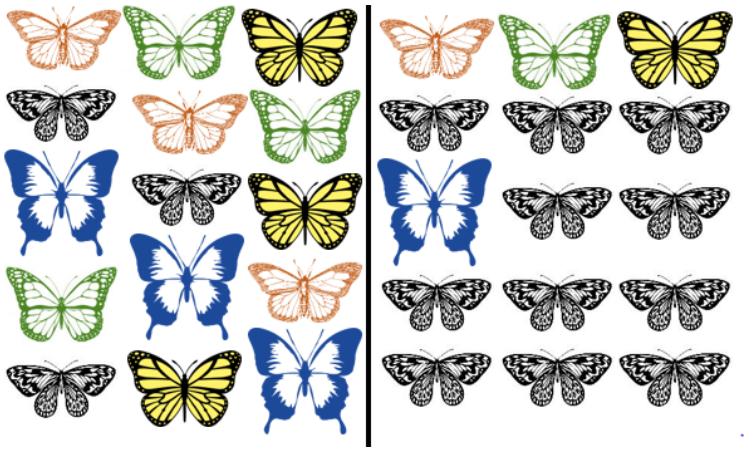
Biodiversidade: a diversidade da vida

O termo biodiversidade e a expressão diversidade biológica foram cunhados pelo biólogo estadunidense Edward O. Wilson (1929-2021) na década de 1980. A Convenção da Diversidade Biológica (CDB), de 1992, assim a definiu em seu art. 2º, como:

> *a variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo, entre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos de que fazem parte; compreendendo ainda a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas (Ministério do Meio Ambiente, 2000, p. 9).*

Apesar das definições acadêmicas e institucionais da biodiversidade e do alcance do conceito, ocorrem comumente confusões na sua interpretação e medição, em especial nos meios interdisciplinares. Muitas concepções equivocadas se baseiam na ideia de que a biodiversidade se limita a uma determinada quantidade, preferencialmente alta, de espécies. Nessa lógica, se existissem duas amostras de 15 indivíduos de borboletas, compostas por 5 espécies diferentes (Figura 3), seriam elas igualmente biodiversas?

Figura 3 – Duas amostras hipotéticas de borboletas, com a mesma riqueza de espécies, mas com diferentes índices de biodiversidade.



Fonte: Elaboração dos Autores

As duas amostras da Figura 3 têm a mesma riqueza de espécies, contudo a biodiversidade, que pode ser estimada por diferentes índices (Simpson, Shannon, Pielou, entre outros), é maior na amostra da esquerda, na qual a heterogeneidade é maior. Para medir a biodiversidade, os cientistas avaliam e ponderam também questões como dominância, frequência, raridade e outros aspectos das comunidades. Mesmo que uma borboleta cinza da amostra da direita seja substituída por uma nova espécie, em que pese o aumento da riqueza da amostra, ela ainda será menos biodiversa – e menos heterogênea – que a amostra da esquerda.

A biodiversidade é a propriedade dos ecossistemas que lhes confere resiliência e, portanto, capacidade de resistir a pressões e de se manter em estabilidade/homeostase. A biodiversidade promove também os chamados "serviços ecossistêmicos", como produção de recursos, ciclagem da água e de nutrientes, polinização de culturas, entre outros que sustentam a vida e o bem-estar humano.

Apesar disso, a biodiversidade tem sido reduzida drasticamente pela degradação, redução, conversão e fragmentação de *habitats*, pela introdução de espécies invasoras, pela poluição e pelas mudanças climáticas. As perdas estão ocorrendo a uma velocidade suficientemente acelerada para caracterizar que um sexto evento de extinção em massa está em curso no planeta Terra, similar ao evento que ocorreu quando um meteoro se chocou com o planeta e levou os dinossauros e milhares de outras espécies à extinção.

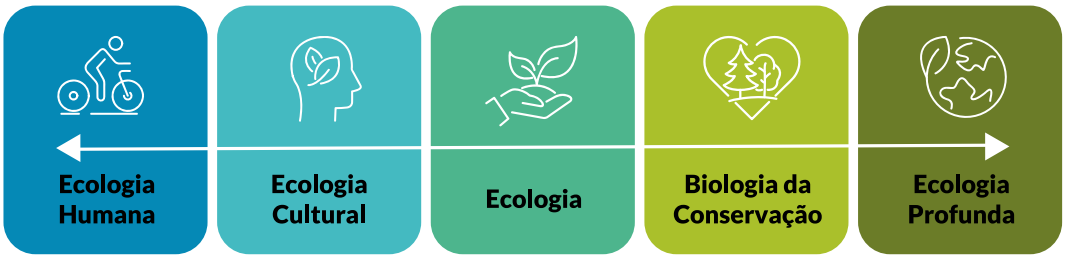
Não é difícil perceber o valor de utilidade da biodiversidade para os humanos, mas isso levanta outra questão: as formas de vida que importam são apenas aquelas que são úteis para os humanos?

Outras ecologias e o desenvolvimento sustentável

A ecologia clássica se debruçou sobre as relações entre os seres vivos e o seu ambiente. Contudo, no século XX surgiram diversas situações que desafiaram os ecólogos a lidar com novas problemáticas. Os modelos e conceitos clássicos da ecologia não são mais suficientes para explicar e propor soluções para as crescentes taxas de poluição, as numerosas extinções de espécies, a perda e a fragmentação de *habitats*, entre outros. Como os humanos já afetaram direta ou indiretamente todos os ecossistemas terrestres, é necessário dar maior atenção às interações deles com os ecossistemas naturais para melhor entender as respostas destes aos diferentes usos e pressões dos humanos.

Há, com efeito, um lado mais social da ecologia, do qual se desdobram os campos da ecologia humana, da ecologia política e da ecologia cultural, focados nas relações entre as sociedades, a cultura e a natureza, por seus impactos e usos (Moran; Overhage, 1970). Por outro lado, os usos dilapidadores da natureza nos eventos relativamente recentes de invasão e colonização do continente americano influenciaram a construção de uma nova ética sobre a relação da sociedade com a natureza. Entre os maiores expoentes dessa nova ética destaca-se o engenheiro florestal estadunidense Aldo Leopold (1887-1948). Ele desenvolveu o conceito da "ética da terra", que "alarga os laços da comunidade para incluir solos, águas, plantas e animais, ou coletivamente: a Terra" (Leopold, 1949, p. 389). Outro destaque é o filósofo norueguês Arne Naess (1912-2009), que propôs transcender a centralidade dos valores antropocêntricos a partir de uma corrente filosófica chamada ecologia profunda. Sensibilizados por uma ética mais biocêntrica e pela emergência de graves perdas da biodiversidade, ecólogos engajados em iniciativas voltadas para mudar essa realidade se reuniram em torno de uma ciência mais aplicada – a biologia da conservação (BC). A Figura 4 reúne, num espectro que vai de um maior antropocentrismo (esquerda) a um maior ecocentrismo (direita), as ecologias que emergiram nos últimos anos.

Figura 4 – Outras ecologias



Fonte: Elaboração dos Autores

As novas ecologias proporcionaram um maior diálogo epistemológico na interface socioambiental e geraram importantes contribuições para essas agendas. Um reflexo disso foi o crescimento do número de metas vinculadas às questões ambientais nos Objetivos do Milênio para a Agenda 2030. O clima, a biodiversidade, as espécies exóticas, as extinções e outras questões ligadas à ecologia ganharam ênfase sem precedentes na Agenda 2030.

Considerações finais

As bases metodológicas e epistemológicas da ecologia oferecem ferramentas, conceitos e reflexões essenciais para lidar com a complexidade dos problemas e desafios relacionados ao DS. Os modelos de ecologia populacional geraram inquietações sobre os padrões de crescimento da população humana, levando a debates seminais para a sustentabilidade. A ideia de que existem limites para a expansão humana e para o uso de recursos da natureza converge com o conceito de capacidade de suporte, vindo da ecologia e adaptado, quase sempre sem rigor, ao DS.

O tema conservação da biodiversidade ganhou destaque a partir dos anos 1980 por causa das evidências crescentes de extinções de espécies. O papel da biodiversidade para a resiliência dos ecossistemas e para a continuidade dos serviços ecossistêmicos revelou a sua importância integradora para compor as agendas da sustentabilidade. A ecologia proporcionou, portanto, uma base reflexiva e explicativa para as questões socioambientais do campo da sustentabilidade. Ao longo do tempo, novas ecologias surgiram para se especializar e se aprofundar em debates específicos. Ainda hoje, esses campos geram conceitos e métodos que formam o campo das ciências da sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

» ALLABY, M. (ed.) A dictionary of ecology. 2. ed. New York: Oxford University Press, 1998.

» BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Convenção da Diversidade Biológica. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/biodiversidade/conven%C3%A7%C3%A3o-da-diversidade-biol%C3%B3gica.html. 2000

» EHRLICH, P. R.; EHRLICH, A. H. The population bomb. Rev. ed. New York: Random House, 1986.

» HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics, v. 4, p. 1-23, 1973.

» KLEIN, D. R. The introduction, increase, and crash of reindeer on St. Matthew Island. The Journal of Wildlife Management, p. 350-367, Abr. 1968.

» LEOPOLD, A. The land ethic: a Sand County almanac, and sketches here and there. Washington, DC: Island Press/Center for Resource Economics, 2014 [1949].

» MORAN, E.; OVERHAGE, P. Ecologia humana, a tragédia da poluição. Petrópolis, RJ: Vozes, 1970.

» ODUM, E. P. Ecologia. Rio de Janeiro: Guanabara, 1986.

» ROCKSTRÖM, J. et al. A safe operating space for humanity. Nature, v. 461, n. 7.263, p. 472, 2009.

» SEARS, P. B. Deserts on the march. 3. ed. rev. Norman, Oklahoma: University of Oklahoma Press, 1959 [1935].

» STEFFEN, W. et al. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. Science, v. 347, n. 6.223, 13 fev. 2015.


FINATEC
Centro de Desenvolvimento
Sustentável UnB
UnB