

FAPESP 60 Anos: A Ciência no Desenvolvimento Nacional

60 Years of FAPESP:
Advancing Science
for National
Development



Uma homenagem da
Academia de Ciências do Estado de São Paulo
A tribute from the São Paulo State Academy of Sciences



Capítulo 3

Biodiversidade terrestre e marinha: conservação, uso e desenvolvimento sustentável

Chapter 3
Terrestrial and marine biodiversity: conservation, use, and sustainable development

autores/authors
Carlos Alfredo Joly¹
Alexander Turra²
Helder Lima de Queiroz³
Jean Paul Metzger¹
Lucas Buruaem Moreira⁴
Vanderlan S. Bolzani⁵
Vera Maria Fonseca de Almeida e Val⁶

¹Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Brasil.
²Universidade de São Paulo (USP), Brasil.
³Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Brasil.
⁴Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), Brasil.
⁵Universidade Estadual Paulista (Unesp), Brasil.
⁶Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Brasil.



A BIODIVERSIDADE E OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
O conceito de Biodiversidade inclui a variabilidade entre os organismos vivos, sejam eles plantas, animais ou microrganismos. Também inclui a variabilidade de todos os ambientes – terrestres, marinhos e de água doce –, bem como a variabilidade de ecossistemas e dos complexos ecológicos dos quais fazem parte. Resumindo: a biodiversidade se refere à vida no Planeta Terra. E esse conceito inclui, também, a espécie humana e a utilização que fazemos, há muitos séculos, de outras espécies para alimento, proteção, cura de doenças e embelezamento. Além disso, qualquer espécie possui, em si, uma variabilidade genética em constante mudança e evolução. Essa variabilidade permite que as espécies interajam entre si e com o meio ambiente em que vivem. A definição mais completa de biodiversidade inclui, além dos aspectos apontados anteriormente, todas as possibilidades de interações entre os seres vivos e entre esses e o ambiente, bem como as adaptações às mudanças ambientais. Essa relação vem sendo denominada pela ciência de plasticidade fenotípica, ou seja, a capacidade de uma espécie ou população de se adaptar a um ambiente mais quente (como o que temos caminhado para, como resultado do

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-27-4.1000003>

(cc) Exceto onde indicado de outra forma, este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença [Creative Commons Attribution-NonCommercial](#), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais e que o trabalho original seja corretamente citado.
Except where indicated otherwise, this is an Open Access chapter distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial](#) license which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

BIODIVERSITY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS
The concept of biodiversity includes variability among living organisms, whether they are plants, animals, or microorganisms. It also includes the variability of environments – terrestrial, marine and freshwater, as well as ecosystem variability and the ecological complexes of which they are part. In brief, biodiversity refers to life on Planet Earth. And this concept also includes the human species and the use we have made, for many centuries, of other species for food, protection, medicines, and decoration. Moreover, any species has, within itself, a genetic variability that is constantly changing and evolving. This variability allows species to interact with each other and with the environment they live in. Besides the aspects already highlighted, the most complete definition of biodiversity includes all possible interactions among living beings, and between them and their environment, as well as adaptations to environmental changes. This re-

© LEONERSON / ISTOCKPHOTO.COM

lation has been labelled by science phenotypic plasticity, that is, for example, the capacity of a species or population to adapt to a hotter environment (toward which we are heading as a result of global warming) or to more rarefied air (that occurs naturally at higher altitudes). The genetic machinery guarantees this capacity of adaptation to enable species to “cope” with environmental challenges, particularly those caused by human beings. Unlike the environmental changes that occurred over millions of years, when life appeared on the planet and evolved up to the present day, the environmental changes caused by humans, since the dawn of the industrial age, have been occurring at record speed. These changes are hindering the adaptations of many species, which suffer from, for example, loss of habitat due to deforestation; intoxication from industrial waste that ends up accumulating in soil, water, and air; the increase in temperature on the planet; and the decrease in the amount of dissolved oxygen in the water due to pollution.

aquecimento global) ou em ar mais rarefeito (como ocorre naturalmente em grandes altitudes). A maquinaria genética define essa capacidade de adaptação para “enfrentar” tais desafios ambientais, particularmente aqueles causados pelo ser humano. Diferentemente das mudanças ambientais que ocorreram ao longo de milhões de anos, quando houve o aparecimento da vida no planeta e sua evolução até os dias de hoje, as mudanças ambientais causadas pelo ser humano desde o aparecimento da era industrial vêm ocorrendo em velocidade recorde, dificultando a adaptação de muitas espécies, que sofrem com, por exemplo, perdas de habitats pelo desmatamento, intoxicação com dejetos industriais que acabam se acumulando no solo, na água e no ar, o aumento da temperatura no planeta e a queda da quantidade de oxigênio dissolvido na água por causa da poluição.

O conceito de Biodiversidade inclui a variabilidade entre os organismos vivos, sejam eles plantas, animais ou microrganismos. Também inclui a variabilidade de todos os ambientes – terrestres, marinhos e de água doce –, bem como a variabilidade de ecossistemas e dos complexos ecológicos dos quais fazem parte.

O conceito de desenvolvimento sustentável¹ foi criado procurando equilibrar as questões econômicas, sociais e ambientais do mundo contemporâneo. Ele engloba uma agenda ampla e complexa, na qual a biodiversidade é peça fundamental, não apenas por ser uma de suas metas centrais, mas, especialmente, por afetar e ser afetado pelas outras dimensões da sustentabilidade, sejam elas relacionadas à agricultura, à fome, ao bem-estar e saúde da população, à regulação do clima ou à provisão da água, por exemplo.

A Agenda para o Desenvolvimento Sustentável de 2030 e seus 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) têm, portanto, o objetivo de atender às necessidades das pessoas e da natureza (United Nations, 2015b). A Figura 1 mostra a biosfera como a base de todos os ODS, na visão integrada do desenvolvimento social, econômico e ecológico.

Em uma primeira avaliação, o tema biodiversidade está ligado mais diretamente aos ODS 14 – Vida na água (e suas 10 metas) e ODS 15 – Vida terrestre (e suas 12 metas). O primeiro ponto a ser discutido é a interdependência entre estes dois objetivos.

Mas, em um país megadiverso, que apesar do modelo econômico predatório de continuamente converter vegetação nativa em monoculturas ou áreas de criação, que ainda mantém 66,3% de sua área recoberta por vegetação nativa (MapBiomass, 2022), é imperativo aprofundar e enriquecer as relações dos ODS 14 e 15 com os demais ODS.

Levando em consideração os ODS 14 e 15 tratados diretamente neste capítulo, é consenso dos autores que, estando na base do “bolo de casamento” (Figura 1), a biodiversidade, tanto terrestre como aquática, incluindo marinha e de água doce, está intimamente relacionada com todos os demais ODS (Figura 2). Optou-se, neste capítulo, por uma análise focada na biodiversidade terrestre e marinha e na sua conservação, uso e desenvolvimento sustentável.

The concept of sustainable development¹ was created in an attempt to balance economic, social, and environmental issues of the contemporary world. It encompasses a broad and complex agenda, in which biodiversity is a fundamental part, not only because it is one of its central elements, but most of all because it affects and is affected by other dimensions of sustainability. These dimensions could be related to agriculture, hunger, population well-being, and health, climate regulation, and water availability, for instance.

The 2030 Sustainable Development Agenda and its 17 Sustainable Development Goals (SDGs) aim to meet the needs of people and nature (United Nations, 2015b). Figure 1 shows the biosphere as the foundation of all SDGs, within a holistic vision of social, ecological, and economic development.

At first glance, biodiversity is more directly connected with SDG 14 – Life in the Water (and its 10 goals) and SDG 15 – Life on Land (and its 12 goals). The first point to discuss is the interdependence between these two goals.

Brazil is a megadiverse country, and despite its predatory economic model that continually converts native vegetation into monocultures or livestock breeding areas, still maintains 66.3% of its area covered with native vegetation (MapBiomass, 2022). As such, it is imperative to deepen and enrich the relationships between SDGs 14 and 15 with the other SDGs.

Regarding SDGs 14 and 15, which are directly considered in this chapter, authors agree that both terrestrial and aquatic (including marine and freshwater) biodiversity, being at the base of the “wedding cake” (Figure 1), is intimately related to all other SDGs (Figure 2).

In this chapter, we have opted for an analysis focused on terrestrial and marine biodiversity and its conservation, and sustainable use.

To exemplify the close relationship between biodiversity and the other SDGs, we will present some evidence of its relationship with the themes of SDG 2 (Zero Hunger and Sustainable Agriculture), SDG 3 (Health and Well-being), SDG 6 (Clean Water and Sanitation), SDG 7 (Clean and Affordable Energy), SDG 9 (Industry, Innovation and Infrastructure), SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), SDG 12 (Sustainable Production and Consumption), and SDG 13 (Action Against Global Climate Change).



Figura 1. O “bolo de casamento” mostra a biosfera como a base de todos os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Fonte: Azote Images, Stockholm Resilience Centre (2014), Universidade de Estocolmo (licença original CC BY 4.0, adaptado para usar ícones em português com texto em inglês).
Figure 1. “The Wedding cake” shows the biosphere as the foundation of economies and societies and as the basis of all SDGs SDGs. Source: Azote Images, Stockholm Resilience Centre (2014), Stockholm University (original license CC BY 4.0, adapted to use icons with Portuguese text along with English texts).

Firstly, however, to highlight the complexity of biodiversity and how it is studied, we will discuss some considerations about Brazilian biodiversity and the biodiversity research carried out in Brazil. Given that this book celebrates 60 years

Para exemplificar a íntima relação entre a biodiversidade e os demais ODS, apresentaremos algumas evidências de sua relação com os temas dos ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ODS 3 (Saúde e

Bem-Estar), ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ODS 12 (Consumo e Produ-

¹ Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades.

¹ Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the capacity of futures generations to meet their own needs.

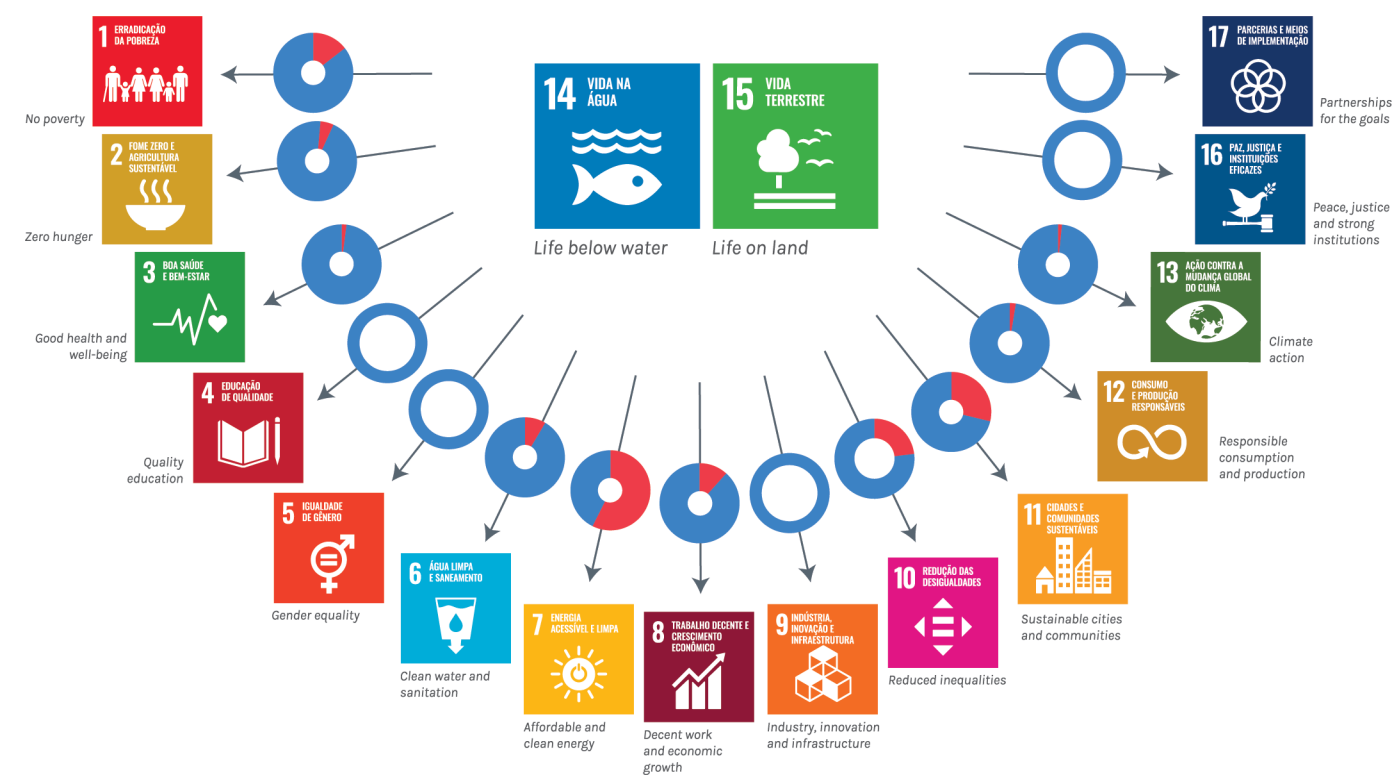


Figura 2. Contribuição da Vida na Água e Vida na Terra (ODS 14 e 15) para os demais ODS. Os dados são o resultado de uma compilação sistemática do atual estado do conhecimento sobre as interações entre os ODS, em termos de cobenefícios (azul) e trade-offs (vermelho). A compilação é baseada em um total de 65 avaliações globais (relatórios da ONU e avaliações científicas internacionais), assim como em 112 artigos científicos publicados desde 2015 com referência explícita aos ODS. Os “donuts” magros mostram ou lacunas no conhecimento, ou interações mais fracas. Fonte: “Figure 2” por Obrecht et al., 2021 (licença original CC BY 4.0, adaptado para usar ícones em português com texto em inglês). *Figure 2. Contribution of Life below Water and of Life on Land (SDGs 14 and 15) to other SDGs. The data is the result of a systematic compilation of the current state of knowledge about interactions among the SDGs, in terms of co-benefits (blue) and trade-offs (red). The compilation is based on a total of 65 global assessments (UN reports and international scientific assessments), as well as 112 scientific articles published since 2015 with explicit reference to the SDGs. The slim donuts show either gaps in knowledge or weaker interactions. Source: “Figure 2” by Obrecht et al., 2021 (original license CC BY 4.0, adapted to use icons with Portuguese text along with English texts).*

ção Sustentável) e ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima).

Antes disso, porém, para ilustrarmos a complexidade da biodiversidade e como ela vem sendo estudada, apresentaremos algumas considerações a respeito da biodiversidade brasileira e sobre a pesquisa em biodiversidade realizada no Brasil. Considerando que este livro homenageia os 60 anos da Fundação de Amparo à Pesquisa

do Estado de São Paulo (FAPESP), daremos especial destaque à pesquisa em biodiversidade por ela financiada.

A BIODIVERSIDADE BRASILEIRA

Brasil: país megadiverso

O Brasil é o país com a maior biodiversidade no mundo.

of the São Paulo State Research Foundation (FAPESP), we will give special attention to biodiversity research it has funded.

BRAZILIAN BIODIVERSITY

Brazil: a megadiverse country
Brazil is the country with the greatest biodiversity in the world.

Currently, knowledge about the numbers of existing species in the world is restricted to a few groups of organisms,

such as flowering plants (angiosperms), vertebrate animals, and some groups of invertebrates (especially bees, butterflies, and mollusks). Even so, these numbers are continually being changed, as the discovery of new species for science is constant and, unfortunately, some losses of known species that have gone extinct are being computed

This dynamic observed in the numbers of species of the best-known groups of organisms occurs especially in megadiverse² countries like Brazil and where existing biodiversity research is still limited. Rich and relatively under-researched environments, such as the Amazon, still have amazing rates of description of new species of vertebrates and higher plants, for example (Valsecchi et al., 2017).

For the other organism groups, knowledge is fairly incomplete, especially for those that live in difficult to access environments such as the deep sea (Mora et al., 2011) or at high altitudes. It is estimated that there are around 11 million species in the world, including organisms known and unknown by science³ (see Table 1).

To compare biodiversity between countries, an index based on large, well-documented groups is used (as previously stated, plants, terrestrial and aquatic vertebrates and some invertebrates) is used. In each group, the total known species together with the proportion of species exclusive to the country (called endemic species⁴) are included. In each group, the total known species are considered, together with the

² Megadiverse countries are a group of 17 countries, mainly in tropical regions, that are home to the majority of species on the planet (Canhos et al., 2015).

³ Although it may appear a simply speculative exercise, there are various established ways to estimate the magnitude of unknown biodiversity. The two most common ways are: 1. Analyze rates of description of new species within each group (Mora et al., 2011). For those organisms where the rate is declining (for example, fish), we can statistically predict when the rate of observation of new species should end. This indicates the expected number of species for the group. 2. Regions whose flora and fauna are precisely described can be used as reference (such as Great Britain and Holland). Based on the proportions of each organism group in these countries, one extrapolates (by rule of three) these proportions to the whole world or to other countries. The greatest uncertainty is due to groups of small animals, such as mites, the soil macrofauna, or that associated with marine sediments, for example.

⁴ Endemic species are those whose distribution is restricted to a specific area, which can be, for instance, a country, a biome, a water basin or a mountain peak. (Canhos et al., 2015).

Atualmente, o conhecimento sobre o número de espécies existentes no mundo restringe-se a alguns grupos de organismos, como as plantas com flores (angiospermas), os animais vertebrados e alguns grupos de invertebrados (especialmente abelhas, borboletas e moluscos). Ainda assim, estes números estão continuamente sendo alterados, pois a descoberta de novas espécies para a ciência é constante e, infelizmente, algumas perdas referentes a espécies conhecidas que foram extintas vêm sendo computadas.

Esta dinâmica que se observa nos números de espécies dos grupos de organismos mais conhecidos ocorre, em especial, nos países megadiversos², como o Brasil, e naqueles em que as pesquisas existentes sobre biodiversidade ainda são limitadas. Ambientes ricos e relativamente pouco investigados, como a Amazônia, ainda apresentam surpreendentes taxas de descrição de novas espécies de vertebrados e plantas superiores, por exemplo (Valsecchi et al., 2017).

Para os demais grupos de organismos, o conhecimento é bastante incompleto, em especial para aqueles que vivem em ambientes de difícil acesso, como o mar profundo (Mora et al., 2011) e as grandes altitudes. Estima-se que, no mundo, entre organismos conhecidos e desconhecidos para a

Considerando-se estes grupos, o Brasil lidera o ranqueamento dos países megadiversos, seguido por Indonésia e Colômbia.

ciência³, há cerca de 11 milhões de espécies (veja a Tabela 1).

Para comparar a biodiversidade entre países, é utilizado um índice baseado em grandes grupos bem documentados (como dito anteriormente, as plantas, vertebrados terrestres, aquáticos e alguns invertebrados). Em cada grupo, considera-se o total de espécies conhecidas, junto com a proporção de espécies exclusivas do país (chamadas de espécies endêmicas⁴).

Considerando-se estes grupos, o Brasil lidera o ranqueamento dos países megadiversos, seguido por Indonésia e Colômbia. O inventário oficial brasileiro de plantas vasculares (musgos, samambaias e plantas

³ Embora possa parecer um exercício de pura especulação, há várias maneiras consolidadas para estimar a dimensão da diversidade desconhecida. Duas das maneiras mais utilizadas são: 1. Pode-se analisar as taxas de descrição de novas espécies dentro de cada grupo (Mora et al., 2011). Naqueles organismos em que essa taxa venha decrescendo (por exemplo, peixes), pode-se prever estatisticamente quando a taxa de descrição de novas espécies deve zerar. Isso indica o número esperado de espécies para o grupo. 2. Pode-se usar como referência regiões cuja fauna e flora estão extensamente descritas (como a Grã-Bretanha e a Holanda). Com base nas proporções de cada grupo de organismo nesses países, extrapola-se (por regra de três) essas proporções para o mundo inteiro ou para outros países. A maior incerteza se deve a grupos de pequenos animais, como ácaros, a macrofauna de solo ou aquela associada a sedimentos marinhos, por exemplo.

⁴ Espécies endêmicas são aquelas cuja distribuição se restringe a uma área determinada, que pode ser, por exemplo, um país, um bioma, uma bacia hidrográfica ou o pico de uma montanha (Canhos et al., 2015).

Tabela 1. Número de espécies descritas no mundo e número total de espécies estimadas (descritas e desconhecidas) por grupo taxonômico (Lewinsohn, 2020).

Table 1. Number of species described globally and total number of estimated species (known and unknown) by taxonomic group (Lewinsohn, 2020).

Grupos Groups	Espécies descritas (milhares) Described species (thousand)	Total estimado (milhares) Total estimated (thousand)
Vírus Virus	2,9 2.9	400 400
Bactérias Bacteria	10,4 10.4	1.000 1,000
Fungos Fungi	146,2 146.2	611 611
Algas Algae	44,0 44.0	200 200
Protozoários Protozoa	8,1 8.1	1.000 1,000
Musgos e samambaias Mosses and ferns		
Plantas com sementes Plants with seeds		
Plantas total Total Plants	366,4 366.4	390 390
Moluscos Mollusks	65,4 65.4	200 200
Insetos Insects	913,7 913.7	5.000 5,000
Aranhas e ácaros Spiders and mites	71,4 71.4	600 600
Crustáceos Crustaceans	39,9 39.9	150 150
Outros invertebrados Other Invertebrates	175,8 175.8	806 806
Peixes Fish	33,9 33.9	40 40
Anfíbios Amphibians	8,2 8.2	15 15
Répteis Reptiles	10,2 10.2	11 11
Aves Birds	10,4 10.4	11 11
Mamíferos Mammals	5,9 5.9	6 6
Outros cordados Other chordates	3,2 3.2	4 4
Animais total Total animals	1.270,8 1,270.8	7.770 7,770
TOTAL TOTAL	1.920,4 1,920.4	11.371 11,371

com sementes) é hoje de 37.700 espécies, ou 11% das espécies de plantas conhecidas no mundo. Nenhum outro país se aproxima dessa diversidade de plantas. A Colômbia

e o México detêm cerca de 7% da flora mundial cada um. O Brasil tem, também, o maior número de espécies de mamíferos (722, 11,3% do total mundial conhecido),

proportion of species unique to the country (called endemic species).

Considering these groups, Brazil leads the ranking of megadiverse countries, followed by Indonesia and Colombia. The official Brazilian inventory of vascular plants (mosses, ferns and seed plants) is currently 37,700 species, or 11% of plant species known worldwide. No other country in the world comes close to this plant diversity. Colombia and Mexico have about 7% of the world's flora each. Brazil also has the largest number of mammal species (722, 11.3% of known global total), birds (1,924, 17.2% of global total) and freshwater fish (3,467, 23.2% of global total), among other groups of organisms (Joly et al., 2019) (Table 2).

Other countries stand out for the number or proportion of endemic species. For instance, Australia has the largest total diversity of reptiles (1,153 species, 11% of global total), of which more than 80% are endemic to the country. In Madagascar, 99% of the 176 Cicindelidae beetles are endemic.

It is more difficult to define national limits in the sea. Colombia, Mexico and Central American countries have coastal areas facing both onto the Atlantic Ocean, including the megadiverse Caribbean Sea, and the Pacific. Therefore, it is possibly that these countries have a greater marine diversity than Brazil.

Even nowadays, Brazil has large extensions of relatively preserved biomes, and many of these areas have never been explored by scientists. The main role of scientific research in the definition of conservation areas is part of goal 14.5 of SDG 14:14.5 <https://sdg-tracker.org/oceans> “By 2020, conserve at least 10 per cent of coastal and marine areas, consistent with national and international law and based on the best available scientific information” (United Nations, 2015c, p. 24).

Due to its size, the Amazon is the Brazilian biome with the largest number of species. The megadiversity present in both terrestrial and aquatic Amazonian environments is far from being fully known, and with each scientific expedition more species appear that have never been identified before . Until the present moment, science has observed 183 animal species threatened with extinction in the region, 122 of which being endemic, and 86 threatened plant species.

The Amazon accounts for around 61% of the national territory, with circa 27 million inhabitants and immense social and cultural diversity surrounded by a mosaic of ecosystems that range from Lowland Tropical Humid Forest to Dry and Season-

al Savannah, including Mangrove vegetation and Altitude Fields. Conservation of ecosystem diversity is outlined in the first goal of SDG 15: “By 2020, ensure the conservation, restoration and sustainable use of terrestrial and inland freshwater ecosystems and their services, in particular forests, wetlands, mountains and drylands, in line with obligations under international agreements” (United Nations, 2015c, p. 24).

Of the 305 indigenous peoples living in Brazil, approximately 190 are partially or totally within the limits of the Amazon, where there are still 442 Quilombola communities (42% of the recognized communities in Brazil) and around 2 million people (only considering Amazonas and Pará states) living in wetlands This population undertakes small scale activities, such as fishing, agriculture and raising animals. Integrating these populations into environmental conservation efforts is directly related to goal 15.9 of SDG 15: “by 2020, integrate ecosystems and biodiversity values into national and local planning, development processes and poverty reduction strategies, and accounting system” (United Nations, 2015c, p. 25).

In addition to ecosystem⁵ services that the Amazon Forest provides with its biochemical and hydrological cycles, it has also an important role in protecting the continental aquatic environment. The different Amazon landscapes provide shelter for reproduction, aquatic temperature maintenance, in particular the small streams and creeks not subjected to flooding. The formation of floodplains in clear water rivers (such as the Solimões River) and of igapós (forests flooded by black water rivers, such as the Rio Negro, for instance) provides necessary food and shelter for species preservation, including fish and other aquatic vertebrates. The floodplain areas are also considered nurseries, because it is where freshwater fish reproduce, and eggs and larvae grow until they leave upstream to migrate in search of food and, when adults, they can conclude another life cycle by reproducing. Besides, specialized fish such as cichlid (acarás) nest and care for their young on river margins, where they find food and protection provided by vegetation.

Many animals that live in freshwater take advantage of this diversity of landscapes, inhabiting forests from terra firme to shallow water rivers, and provide the continuity of these landscapes by dispers-

⁵ Ecosystem services are the benefits that human obtain from nature, derived directly or indirectly from ecosystem functioning.

Tabela 2. Estimativa do número de espécies de plantas vasculares e de vertebrados terrestres nos biomas brasileiros (Lewinsohn, 2020).

Table 2. Estimated number of species of vascular plants and terrestrial vertebrates in Brazilian biomes (Lewinsohn, 2020).

	Amazônia Amazon	Mata Atlântica Atlantic Forest	Cerrado Cerrado	Caatinga Caatinga	Pampa Pampa	Pantanal Wetlands	Total Total
Extensão (1.000 km²) Area (1,000 km²)	4.200 4,200	1.300 1,300	2.000 2,000	912,5 912.5	176,5 176.5	150,3 150.3	
Flora vascular Vascular flora							
Número de espécies Number of species	12.354 12,354	16.146 16,146	12.070 12,070	3.150 3,150	2.215 2,215	1.577 1,577	37.734 37,734
% Flora % Flora	32,7 32.7	42,8 42.8	32,0 32.0	8,3 8.3	5,9 5.9	4,2 4.2	
% Espécies endêmicas para o bioma % Endemic species for the biome	16,2 16.2	46,6 46.6	34,9 34.9	23,7 23.7	3,5 3.5	3,0 3.0	
Vertebrados terrestres Terrestrial vertebrates	2.233 2,233	1.855 1,855	1.440 1,440	819 819	736 736	-- --	

aves (1.924, 17,2% do mundo) e peixes de água doce (3.467, 23,2% do mundo), entre outros grupos de organismos (Joly et al., 2019) (Tabela 2).

Outros países se destacam no número ou na proporção de espécies endêmicas. Por exemplo, para os répteis, a Austrália tem a maior diversidade total (1.153 espécies, 11% do mundo), das quais mais de 80% são endêmicas naquele país. Em Madagascar, 99% das 176 espécies de besouros cicindelídeos são endêmicas.

No mar há uma maior dificuldade de delimitar os limites nacionais. Colômbia, México e países da América Central possuem áreas costeiras tanto de frente para o Oceano Atlântico, incluindo o megadiverso mar do Caribe, como para o Pacífico. Com isso, esses países têm potencialmente maior diversidade marinha que o Brasil.

O Brasil tem, ainda hoje, grandes extensões de biomas relativamente conservados, e muitas dessas áreas nunca foram exploradas por cientistas. O papel central da pesquisa científica na definição de áreas de conservação é parte da Meta 14:5 do

ODS 14: “Até 2020, conservar pelo menos 10% das zonas costeiras e marinhas, de acordo com a legislação nacional e internacional, e com base na melhor informação científica disponível” (United Nations, 2015c, p. 24). Por isso podemos afirmar com segurança que a pesquisa futura só tenderá a destacar ainda mais o Brasil na biodiversidade do planeta.

A Amazônia é o Bioma brasileiro que abriga o maior número de espécies, em função de seu tamanho. A megadiversidade existente tanto no ambiente terrestre como no ambiente aquático amazônico está longe de ser conhecida totalmente e, a cada expedição científica, aparecem mais espécies nunca antes identificadas. No momento, a ciência já identificou que a região apresenta 183 espécies de animais ameaçadas de extinção, sendo 122 endêmicas, e 86 espécies de plantas ameaçadas.

A Amazônia soma cerca de 61% do território nacional, com cerca de 27 milhões de habitantes e imensa diversidade social e cultural envolta pelo mosaico de ecossistemas que incluem desde Floresta Tro-

pical Úmida de Terras Baixas a Savana Se-
ca e Estépica, passando pela vegetação de
Mangue e os Campos de Altitude. A con-
servação da diversidade de ecossistemas
está prevista na primeira meta do ODS 15:
“Até 2020, assegurar a conservação, recu-
peração e uso sustentável de ecossistemas
terrestres e de água doce interiores e seus
serviços, em especial florestas, zonas úmi-
das, montanhas e terras áridas, em confor-
midade com as obrigações decorrentes dos
acordos internacionais” (United Nations,
2015c, p. 24).

Dos 305 povos indígenas que vivem no
Brasil, aproximadamente 190 estão parcial
ou totalmente dentro dos limites da Ama-
zônia, onde estão ainda 442 comunidades
quilombolas (42% das comunidades reco-
nhecidas no Brasil) e cerca de 2 milhões
de pessoas (apenas considerando os esta-
dos do Amazonas e Pará) vivendo em áre-
as úmidas. Essa população desenvolve ati-
vidades em pequena escala, como pesca,
agricultura e criação de animais. Integrar
essas populações aos esforços de conser-
vação ambiental se relaciona diretamente
à Meta 15.9 do ODS 15: “Até 2020, integrar
os valores dos ecossistemas e da biodiversi-
dade ao planejamento nacional e local, nos
processos de desenvolvimento, nas estraté-
gias de redução da pobreza e nos sistemas
de contas” (United Nations, 2015c, p. 25).

Além dos serviços ecossistêmicos⁵ que a
floresta amazônica proporciona com seus
ciclos hidrológico e biogeoquímico, ela tem
um papel importante na proteção do am-
biente aquático continental. As diferentes
paisagens amazônicas proporcionam abrigos
para reprodução, manutenção da tempera-
tura aquática, em particular em pequenos
riachos e ribeirões em florestas não sujei-
tas à inundação. A formação de várzeas em
rios de águas claras (como o rio Solimões)
e de igapós (que são as florestas inunda-
das por rios de água preta, como o rio Ne-
gro, por exemplo) promovem abrigos im-
portantes para a preservação das espécies,

fornecendo abrigo e alimento para peixes e
outros vertebrados aquáticos. As áreas de
várzea são, ainda, consideradas berçários,
pois peixes de água doce se reproduzem no
rio, e ovos e larvas são levados para as áre-
as de várzea onde crescem até partirem rio
acima para migração em busca de alimen-
to para, quando adultos, fecharem mais um
ciclo de vida e se reproduzirem. Além dis-
so, peixes especializados como os ciclíde-
os (acarás) formam seus ninhos e cuidam
de suas proles nas margens dos rios, onde
encontram alimento e proteção oferecidos
pela vegetação.

Muitos animais que vivem na água doce
se valem dessa diversidade de paisagens,
habitando desde florestas de terra firme
até rios de águas baixas, e proporcionam
a continuidade dessas paisagens disper-
sando diferentes espécies de árvores cujos
frutos são seu alimento. Um dos melhores
exemplos que podemos citar são as espé-
cies frugívoras como o tambaqui, que se
alimentam de frutos das florestas inunda-
das durante períodos de cheia e carregam
suas sementes para outros locais quando
as águas baixam. Em todas as bacias per-
tencentes às florestas tropicais, em parti-
cular a floresta amazônica, animais aquá-
ticos são agentes de dispersão e reciclagem
de alimentos.

Outro exemplo de interdependência
ocorre na transição da floresta de terra fir-
me para as áreas de vegetação aberta que
ocorrem em Roraima (conhecidas como la-
vrados). Nessas áreas, a vegetação vai so-
frendo modificações e proporcionando a
ocorrência de espécies de peixes mais adap-
tadas à vegetação aberta, em geral peixes
pequenos ornamentais. Tais espécies são
objeto de comércio intenso e fonte de ren-
da para as comunidades ribeirinhas locais.

O lavrado é, em si, um ambiente favo-
rável a vegetações rasteiras, modificando
a paisagem e proporcionando a transição
para as áreas de planalto ao norte da região
amazônica (conhecidas como escudos das
Guianas), onde ocorrem as nascentes dos
rios. Nas cabeceiras dos rios, a diversidade
de peixes é pequena e, conforme os rios de
primeira ordem vão se unindo com rios de

ing different species of trees whose fruits
they feed on. One of the best examples we
can cite are frugivorous species such as
the tambaqui, which feed on the fruits of
flooded forests during flood periods and
carry their seeds to other locations when
the waters recede. In all basins belonging
to tropical forests, in particular the Ama-
zon basin, aquatic animals are agents of
dispersal and food recycling.

Another example of interdependence oc-
curs in the transition between terra firme
forests and open vegetation areas that
occur in Roraima (known as lavrado). In
these areas, vegetation undergoes altera-
tions, allowing the presence of fish species
more adapted to open vegetation, usually
small ornamental fish. Such species are
object of intense trade and are an income
source for local riverside communities.

The lavrado is, in itself, a favorable envi-
ronment for lowland savannah like vege-
tation, modifying the landscape and pro-
viding the transition to the plateau areas
in the north of the Amazon region (known
as the Guianas shields), where the springs
of some tributaries of the Amazon are.

In river headwaters, fish diversity is low.
As the first-order rivers meet second- and
third-order ones, and the altitude drops,
fish diversity increases, until arriving to
the main rivers, where the Amazon Basin,
home to the greatest freshwater fish diver-
sity in the world, is formed. Maintaining
and preserving these characteristics are
actions that ensure environmental con-
servation. They also maintain the sustain-
able use of biodiversity, both in the forest
and in the hydrological basin. These as-
pects are in line with Target 15.5 of SDG
15: “Take urgent and significant action to
reduce the degradation of natural habi-
tats, halt the loss of biodiversity and, by
2020, protect and prevent the extinction
of threatened species.” (United Nations,
2015c, p. 25).

The strong interdependence between
terrestrial and marine biodiversity man-
ifests itself at different levels of organi-
zation, from species to ecosystems. Even
understanding the contact between the
continent and the sea as a transition, for
example the brackish waters, some spe-
cies take advantage of these different en-
vironments in their life strategies.

The Atlantic Forest has landscapes that
exemplify this interdependence between
continental and marine biodiversity. The
Atlantic Forest extends from sea level
up to 2,800 meters of altitude, including
Semideciduous and Deciduous, Dense Om-
brophilous, and Open and Mixed forests,
in addition to Altitude Fields, Restingas
and Mangroves. About 20 different indige-

nous people, Quilombolas, and traditional
coastal populations live in this Biome for
centuries. These inhabitants are holders
of cultural and ecological understanding
of many of the 20 thousand plant species
(40% of them endemic), including 65% of
Neotropical bamboo species, mammals
(15% endemic), 936 birds (16%), 306 rep-
tiles (31%), 516 amphibians (63%) and ap-
proximately 350 freshwater fish (38% en-
demic) (Marques & Grelle, 2021).

Mangroves stand out amid the diverse
ecosystems that make up the Atlantic For-
est. These occur in estuaries that transi-
tion between forests and the sea and are
examples of regions considered nurseries
– fish that migrate to reproduce in waters
more favorable to larval development are a
typical example of this. Thus, these areas
are preferential candidates for conserva-
tion and should be prioritized in environ-
mental restoration programs.

Brazil has one of the largest mangrove
areas in the world: from Cape Orange in
Amapá, in the estuary of the Amazon Riv-
er, to the municipality of Laguna in San-
ta Catarina. Currently, mangroves cover
a total surface area of more than 10,000
km², most of it along the northern coast
of Brazil. Mangroves constitute a unique r
ecosystem for the preservation of crusta-
ceans and fish of dietary importance, pro-
viding food security for local populations
(Caiçaras, Quilombolas and Indigenous
People) as well as a source of income due
to their commercial value. Currently, man-
groves support more than 1 million peo-
ple, mainly because they provide a nurs-
ery for 70% of the commercial fish stocks.

Besides efforts to maintain these food
and income production environments,
measures to preserve aquatic transition
environments are connected to efforts to
preserve the landscape as a whole, as well
as landscape diversity. The vegetation sur-
rounding these environments serves as
shelter and is vital to prevent erosion of
rivers. Frequent erosion processes can re-
sult in a change in the amount of nutrients
present in the water, as well as in the loss
of habitats for several animal species. It
is necessary to understand that vegeta-
tion is of great importance for both aqat-
ic and terrestrial life.

As stated earlier, understanding that
the terrestrial environment is important
for marine species, just as the marine en-
vironment is important for some terres-
trial species, is crucial. Seabirds, such as
boobies (*Sula leucogaster*) and frigate-
birds (*Fregata magnificens*) depend on
the terrestrial environment (especialy re-
mote islands) for nesting. Migratory birds,
such as semipalmated plover (*Charadri-*

segunda e terceira ordem, e diminuindo em
altitude, a diversidade de espécies vai au-
mentando, até chegar nos rios principais,
nos quais se forma a Bacia Amazônica, de-
tentora da maior diversidade de peixes de
água doce do mundo. Manter e conservar
tais características são ações que assegu-
ram a conservação ambiental. Assim como
manter o uso sustentável da biodiversida-
de, tanto da floresta como da bacia hidro-
lógica. Aspectos que estão em consonância
com a Meta 15.5 do ODS 15: “Tomar medi-
das urgentes e significativas para reduzir
a degradação de habitat naturais, deter a
perda de biodiversidade e, até 2020, prote-
ger e evitar a extinção de espécies ameaça-
das” (United Nations, 2015c, p. 25).

A forte interdependência entre a bio-
diversidade terrestre e marinha se
manifesta em diferentes níveis de
organização, das espécies aos ecossistemas.
Mesmo compreendendo o contato entre o
continente e o mar como uma transição, por
exemplo de águas salobras, algumas espé-
cies se valem desses diferentes ambientes
em suas estratégias de vida. A Mata Atlân-
tica possui paisagens que exemplificam es-
sa interdependência entre a biodiversida-
de continental e a marinha.

A Mata Atlântica estende-se do nível do
mar até 2.800 metros de altitude, englo-
bando as Florestas Semidecidual e Decidu-
al, as Ombrófilas Densas, abertas e mistas,
além dos Campos de Altitude, Restingas e
Manguezais. No Bioma vivem quilombo-
las, populações costeiras tradicionais e cer-
ca de 20 povos indígenas que possuem o
domínio cultural e ecológico de várias das
20 mil espécies de plantas (40% delas en-
dêmicas), incluindo 65% das espécies de
bambus neotropicais, de mamíferos (15%
endêmicas), 936 aves (16%), 306 répteis
(31%), 516 anfíbios (63%) e 350 peixes de
água doce (38% endêmicas) (Marques &
Grelle, 2021).

Dentre os diversos ecossistemas que
compõem a Mata Atlântica, destacam-se
os manguezais. Estes ocorrem nos estuá-
rios de transição da floresta para o mar e
são exemplos de regiões consideradas ber-
çários – peixes que migram para se reprodu-

zirem em águas mais favoráveis ao desen-
volvimento larval são um exemplo típico.
Isso demonstra que essas áreas são candi-
datas preferenciais à conservação e devem
ser priorizadas em programas de restaura-
ção ambiental.

O Brasil tem uma das maiores extensões
de manguezais do mundo: desde o Cabo
Orange no Amapá, na região da foz do rio
Amazonas, até o município de Laguna em
Santa Catarina. Hoje em dia, os mangue-
zais ocupam uma superfície total de mais
de 10.000 km², grande parte da Costa Nor-
te Brasileira. Manguezais constituem um
ecossistema singular na preservação de
crustáceos e peixes de importância alimen-
tar, provendo segurança alimentar para as
populações caiçaras, bem como gerando
uma fonte de renda por seu valor comer-
cial. Atualmente, os manguezais sustentam
mais de 1 milhão de pessoas, especialmen-
te por serem berçário de 70% dos recursos
pesqueiros de interesse comercial.

Além dos esforços para manter esses am-
bientes produtores de alimento e renda, o
esforço em preservar ambientes aquáticos
de transição está ligado ao esforço de pre-
servar a paisagem como um todo e a diversi-
dade de paisagens. A vegetação no entorno
desses ambientes serve de abrigo e é pri-
mordial na prevenção de erosão nos rios.
A grande incidência de processos erosivos
pode resultar em uma alteração da quan-
tidade de nutrientes presentes nas águas
e, consequentemente, na perda de habitats
para variadas espécies animais. É preciso
compreender que a vegetação é de grande
importância tanto para a vida terrestre co-
mo para vida aquática.

Como já dito anteriormente, é importan-
te compreender que o ambiente terrestre é
importante para espécies marinhas, assim
como o ambiente marinho é importante
para algumas espécies terrestres. As aves
marinhas, como atobás (*Sula leucogaster*) e
fragatas (*Fregata magnificens*) dependem do
ambiente terrestre (especialmente ilhas re-
motas) para fazerem seus ninhos. Aves mi-
gratórias, como a bатуíra-de-bando (*Chara-
drius semipalmatus*) e o maçarico-rasteirinho
(*Calidris pusilla*) utilizam praias e ambientes

⁵ Serviços Ecossistêmicos são benefícios que o ser hu-
mano obtém da natureza, derivados, direta ou indi-
retamente, do funcionamento dos ecossistemas.



us semipalmatus) and the semipalmated sandpiper (*Calidris pusilla*) use beaches, estuary and mangrove environments as feeding and resting areas. Marine turtles use areas of beaches far from the sea, as nesting areas. On the other hand, some marine invertebrate species have semi-terrestrial life habits, such as the Atlantic ghost crab (*Ocypode quadrata*), which sporadically constructs burrows in Restinga areas. The destruction of mangroves, erosion of beaches, and human occupation of islands are examples of environmental alterations that threaten these species.

The transition between marine and terrestrial environments is largely driven by water movement and tides. Although winds are relevant in some areas, since they bring sediment and nutrients from the sea (in the form of spray) to the continent, this flow is mainly controlled by water moving through the watershed and reaching the sea. More than a unidirectional flow, this phenomenon highlights the water cycle that is driven by the marine environment, which has a strong influence on the regulation of rainfall in continental areas.

It is important to note that part of the organic matter and nutrients that maintain biogeochemical processes and the flow of matter and energy in marine ecosystems, depend on terrestrial sources, especially vegetated areas. The plant biomass that decomposes in the soil and/or in water bodies flows into the sea, where it supports the primary production carried out by different types of organisms, from microscopic phytoplankton algae to leafy mangrove trees.

This land-sea connection expands into the sea, creating ecological corridors that sustain not only marine biodiversity, but also fishing activities. The high production of estuarine areas provides abundant food for the for the early life stages of different marine species. In addition to the protection provided by mangroves, estuaries are highly important areas for marine species reproduction and growth. For instance, the biodiversity of the Abrolhos Bank in southern Bahia, which is one of the most important areas of Brazilian marine biodiversity, depends on this connection with estuaries and mangroves, but also with the connection with other intermediary environments. In these locations, fish of commercial interest, such as robalos (*Centropomus* spp.) and mullet (*Mugil* spp.) find an important environment to complete their life cycle, without which fishing would be compromised.

The importance of conserving this land-sea relationship is evidenced in Tar-

get 14.2 of SDG 14: “By 2020, sustainably manage and protect marine and coastal ecosystems to avoid significant adverse impacts, including by strengthening their resilience, and take action for their restoration, in order to ensure healthy and productive oceans” (United Nations, 2015c, p. 23).

The added economic value of Brazilian biodiversity

These substances, formed by complex metabolic pathways, are responsible for the regulation of several functions for the interactions between organisms such as: resistance against pests and diseases, attraction of pollinators, and interaction with symbiotic microorganisms, vital gears for the maintenance of terrestrial and marine biodiversity.

These natural products that accumulate in all plant species and other terrestrial, marine and aquatic organisms, can provide a wide variety of high-complexity structural models such as polyketides, lignoids, flavonoids, coumarins, anthraquinones, alkaloids, terpenoids, etc. (Figure 3).

From the beginning of civilization, human culture has been deeply influenced by biodiversity, especially by plant species. The recognition of plants as sources of food, medicines, embellishment, religious rituals, food supplements or fuel, has always stimulated human curiosity, driven by the constant search for survival and e improvement of life throughout the process of human development. As a result, today we have valuable records of many plants with a variety of useful applications, discovered from only a small fraction of species already chemically and pharmacologically studied.

We believe that, from a total of around 250,000 species estimated to occur on planet earth, more or less 100,000 have secondary metabolites, various of which remain to be studied for their molecular structure, biological activity and pharmacological properties. These numbers show the enormous potential of our rich biodiversity, still little studied in its pharmacological potential, representing, therefore, a natural laboratory for discoveries of new models of drugs, pigments, essential oils, aromas and fragrances. These numbers show the enormous potential of our rich biodiversity, still little studied in its pharmacological potential, representing, therefore, a natural laboratory for discoveries of new models of drugs, pigments, essential oils, aromas and fragrances.

Over recent decades, the history of drug discovery has witnessed unprecedented development based on natural prod-

estuarinos e de manguezal como área de alimentação e descanso. Já as tartarugas marinhas usam as porções das praias que ficam fora da área de alcance do mar como área para seus ninhos. Por outro lado, algumas espécies de invertebrados marinhos possuem hábitos de vida semiterrestre, como o caranguejo-fantasma (*Ocypode quadrata*), que esporadicamente constrói tocas em áreas de restinga. A destruição de manguezais, a erosão de praias ou a ocupação humana em ilhas são exemplos de alterações ambientais que ameaçam essas espécies.

A transição entre os ambientes terrestre e marinho se dá, em grande parte, pelo movimento das águas e pelas marés. Embora o vento possa ser relevante em alguns locais, para trazer sedimento e nutrientes do continente para o mar e água na forma de borrifos para terra, esse fluxo é predominantemente regido pela água que flui pelas bacias hidrográficas e que chega ao mar. Mais que um fluxo unidirecional, esse fenômeno evidencia o ciclo da água, que é propulsionado pelo ambiente marinho, que tem forte influência na regulação do volume de chuvas nas áreas continentais.

É importante destacar que parte da matéria orgânica e dos nutrientes que sustentam os processos biogeoquímicos e o fluxo de matéria e energia nos ecossistemas marinhos depende de fontes terrestres, especialmente das áreas vegetadas. A biomassa vegetal que se decompõe no solo e/ou nos corpos d'água flui para o mar, onde sustenta a produção primária realizada por diferentes tipos de organismos, desde algas microscópicas do fitoplâncton até árvores frondosas do manguezal.

Essa conexão terra-mar expande-se mar adentro, criando corredores ecológicos que sustentam não só a biodiversidade marinha mas também a atividade pesqueira. A alta produção das áreas estuarinas oferece alimento abundante para as fases de vida iniciais de diferentes espécies marinhas. Somando-se à proteção dada pelos manguezais, os estuários correspondem a locais de altíssima relevância para a reprodução e crescimento de espécies marinhas. Por exemplo, a biodiversidade do Banco dos

A transição entre os ambientes terrestre e marinho se dá, em grande parte, pelo movimento das águas e pelas marés.

Abrolhos, no sul da Bahia, que representa uma das mais importantes áreas para a biodiversidade marinha brasileira, depende dessa conexão com os estuários e manguezais, mas também com outros ambientes intermediários. Peixes de interesse comercial, como robalos (*Centropomus* spp.) e tainhas (*Mugil* spp.) têm, nessas localidades, um importante ambiente para completar seu ciclo de vida, sem o qual a pesca estaria comprometida.

A importância da conservação dessa relação terra-mar é evidenciada na Meta 14.2 do ODS 14: “Até 2020, gerir de forma sustentável e proteger os ecossistemas marinhos e costeiros para evitar impactos adversos significativos, inclusive por meio do reforço da sua capacidade de resiliência, e tomar medidas para a sua restauração, a fim de assegurar oceanos saudáveis e produtivos” (United Nations, 2015c, p. 23).

O valor econômico agregado da biodiversidade brasileira

A biodiversidade terrestre, vista pelo aspecto de sua variedade e complexidade molecular, é uma fonte riquíssima de metabólitos secundários, também conhecidos como produtos naturais. Essas substâncias, formadas por vias metabólicas complexas, são responsáveis pela regulação de diversas funções para as interações entre organismos como: resistência contra pragas e doenças, atração de polinizadores e interação com microrganismos simbióticos, engrenagem vital para a manutenção da biodiversidade terrestre e marinha.

Esses produtos naturais acumulados em todas as espécies de plantas e de outros organismos terrestres, marinhos e aquáticos

podem fornecer uma enorme variedade de modelos estruturais de alta complexidade como policetídeos, lignoides, flavonoides, cumarinas, antraquinonas, alcaloides, terpenoides, etc. (Figura 3).

A cultura humana foi profundamente influenciada pela biodiversidade, principalmente pelas espécies vegetais, desde os primórdios da civilização. O reconhecimento das plantas como fontes de alimento, cura, embelezamento, rituais religiosos, suplementos alimentares ou combustíveis sempre despertou a curiosidade humana, impulsionada pela busca constante de sobrevivência e melhoria da vida ao longo do processo de desenvolvimento humano. Como resultado temos, hoje, registros valiosos de muitas plantas com uma variedade de aplicações úteis descobertas a partir de uma pequena fração das espécies química e farmacologicamente já estudadas.

Acredita-se que, de um total de cerca de 250.000 espécies estimadas de ocorrer no Planeta Terra, cerca de 100.000 possuem metabólitos secundários, vários deles ainda sem qualquer estudo sobre suas estruturas moleculares, atividades biológicas e propriedades farmacológicas. Esses números mostram o enorme potencial da nossa rica biodiversidade, ainda pouco estudada em seu potencial farmacológico, representando, portanto, um laboratório natural para descobertas de novos modelos de fármacos, pigmentos, óleos essenciais, aromas e fragrâncias.

Nas últimas duas décadas, a história da descoberta de medicamentos testemunhou um desenvolvimento sem precedentes com base em produtos naturais, que têm sido a fonte mais importante de metabólitos secundários com muitas aplicações em biologia, química medicinal, fármacos, nutracêuticos, cosméticos e agroquímicos.

ucts. These have been the most important source of secondary metabolites, with numerous applications in biology, medicinal chemistry, pharmaceuticals, nutraceuticals, cosmetics, and agrochemicals.

Applying healing properties of certain plants is one of the oldest ways that human beings found to alleviate physical suffering caused by numerous diseases. Figure 4 shows a range of natural products used as medicines. These products changed human health globally and provided an incalculable advance for plant science. Data from the World Health Organization (WHO) show that the use of traditional medicines is growing, reaching 80% of the world's population (World Health Organization, 2020). Newman & Cragg (2020) have so far published five reviews in the Journal of Natural Products on natural products identified worldwide over the past 40 years that are used as approved therapeutic agents for human use. In the latest review, among the drugs launched on the market, 1,881 are natural products, products of synthesis inspired by natural products, or synthetic deriva-

tives of natural products. These data highlight the importance of natural products as “hits”⁶ and “leads”⁷ for drugs. Even with the reduction of drug discovery programs based on natural products in large multinational pharmaceutical companies, they remain an important source of novel molecular models in the development of new therapeutic targets.

Brazilian biodiversity is a storehouse of unique molecular data, and the destruction of Brazilian biomes means the loss of hundreds of natural products. These lost species are vital not only for the ecosys-

O hábito humano de recorrer às virtudes curativas de certos vegetais é uma das manifestações mais antigas que o ser humano encontrou para aliviar o sofrimento físico causado por inúmeras doenças. A Figura 4 mostra um panorama de alguns produtos naturais utilizados como fármacos. Esses produtos mudaram a saúde humana no planeta e proporcionaram um avanço incalculável da ciência de plantas. Dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) demonstram que o uso da medici-

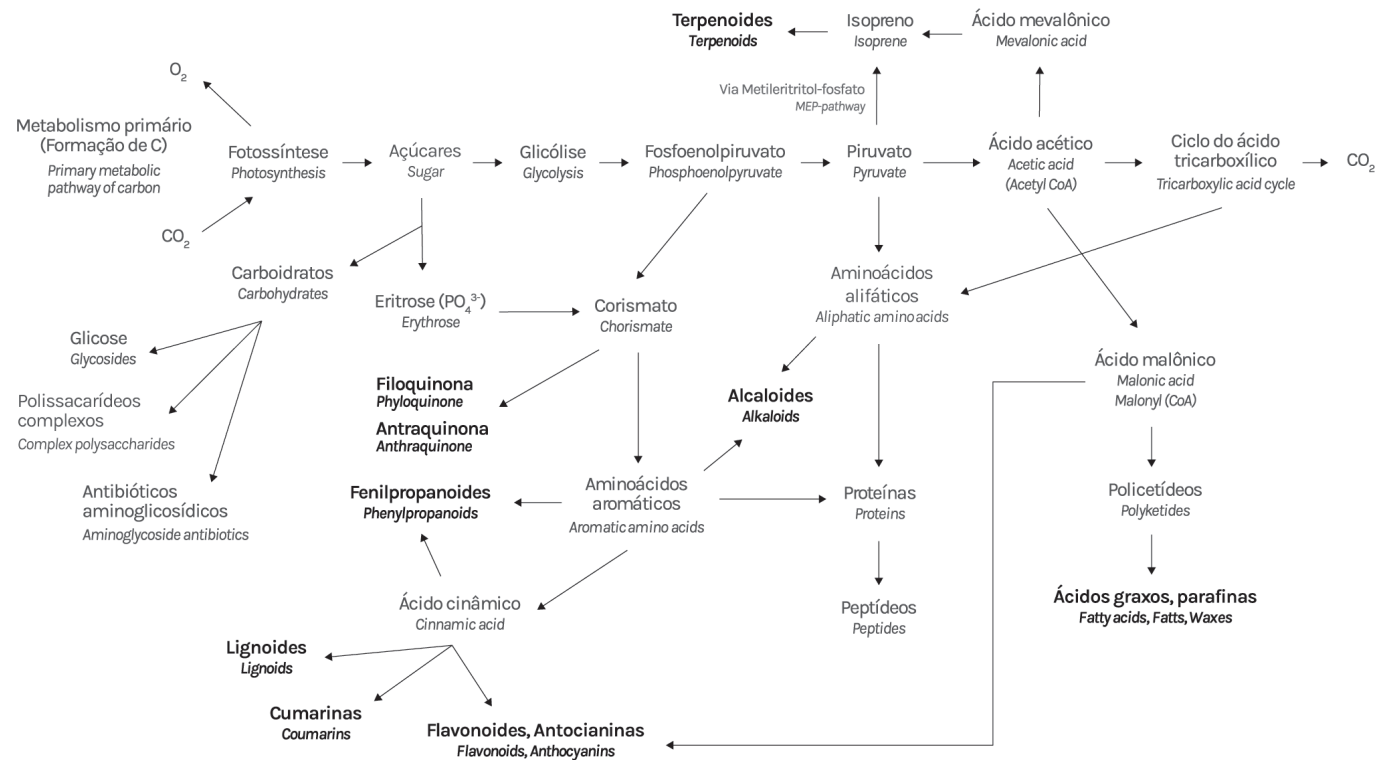


Figura 3. Vias biossintéticas de plantas (adaptado de Nugroho & Verpoorte, 2004, CC BY).
Figure 3. Biosynthetic pathways of plants (adapted from Nugroho & Verpoorte, 2004, CC BY).

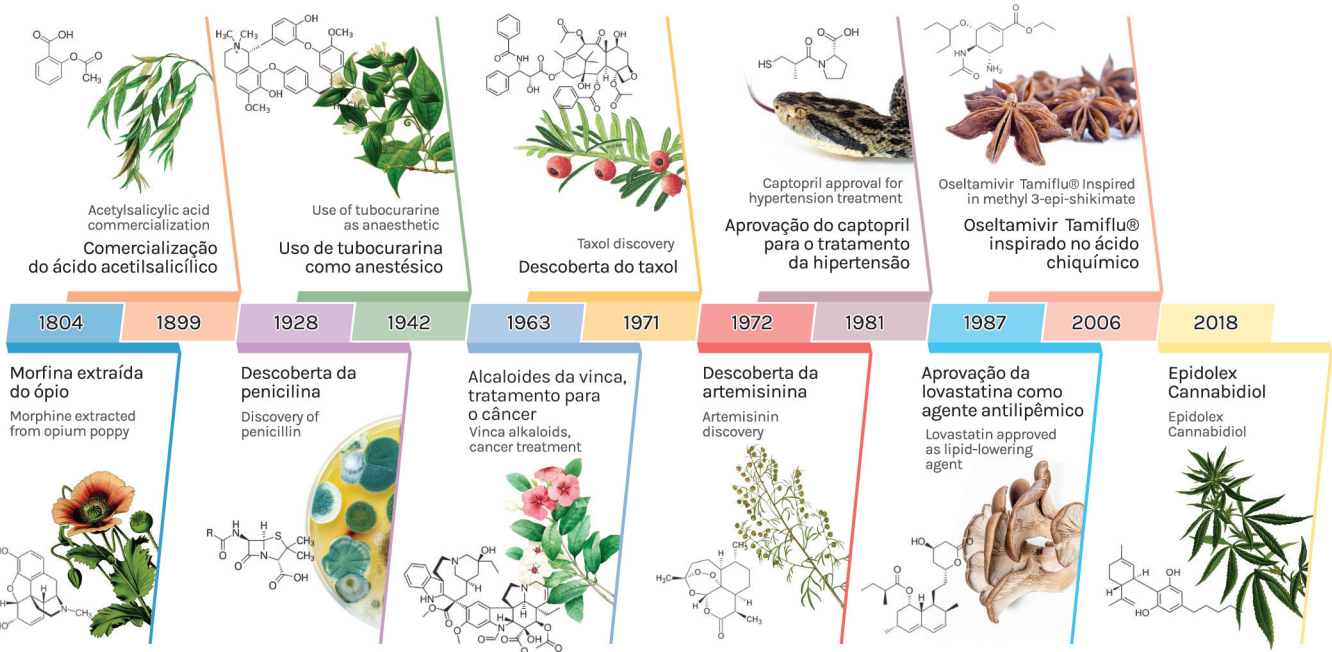


Figura 4. Alguns exemplos de produtos naturais consagrados mundialmente como medicamentos para o tratamento de várias doenças. Fonte: “Figure 1” por Valli & Bolzani, 2019, CC BY (adaptado para renovar estilo, imagens e para incluir o Epidolex Cannabidiol).
Figure 4. Some examples of natural products globally used as medicines for the treatment of various diseases. Source: “Figure 1” by Valli & Bolzani, 2019, CC BY (adapted to renew style, images and to include Epidolex Cannabidiol).

⁶ Hit is a compound/molecule with a known/identified structure that has an activity in a biological assay below a given value (Piccirillo & Amaral, 2018).

⁷ Lead is a compound (or a series of compounds) with activity and selectivity proven through biological assays, that fulfill some important criteria for the development of a drug, such as, originality, accessibility, and possibility to be patented (Piccirillo & Amaral, 2018).

na tradicional vem crescendo mundialmente, chegando a 80% da população mundial (World Health Organization, 2020). Newman & Cragg (2020) publicaram, até o presente momento, cinco revisões no *Journal of Natural Products* sobre produtos naturais identificados em todo o mundo nos últimos 40 anos, que são utilizados como agentes terapêuticos aprovados para uso humano. Na última revisão, entre os fármacos lançados no mercado, 1.881 são produtos naturais, produtos de síntese inspirados em produtos naturais ou derivados sintéticos de produtos naturais. Estes dados são testemunhos da importância dos produtos naturais como “hits”⁶ e “leads”⁷ de fármacos e, mesmo diante da redução dos programas de descoberta de medicamentos baseados em produtos naturais nas grandes empresas farmacêuticas multinacionais, eles continuam sendo uma fonte de modelos moleculares inéditos e importante no desenvolvimento de novos alvos terapêuticos.

A biodiversidade brasileira constitui uma biblioteca de dados moleculares única, e a destruição dos biomas brasileiros significa a perda de centenas de produtos naturais. Essas espécies perdidas não são apenas essenciais ao equilíbrio desses ecossistemas, mas, também, espécies ricas em substâncias de alto valor agregado que serão perdidas. Por exemplo, da espécie *Endopleura uchi* (Humiriaceae), conhecida como Uxi, foi isolada a bergenina (Magalhães et al., 2007), substância com propriedade anti-inflamatória, que teve sua estrutura química sintetizada e hoje é produzida por grandes laboratórios multinacionais. Apenas 1 miligrama do produto sintético custa mais de 1.000 dólares, valor maior que 1 grama de ouro.

⁶ Hit é um composto/molécula com estrutura identificada/conhecida que possui uma atividade, em um ensaio biológico, abaixo de determinado valor (Piccirillo & Amaral, 2018).

⁷ Lead é um composto (ou uma série de compostos) com atividade e seletividade comprovada através de ensaios biológicos, que preenchem alguns critérios importantes para desenvolvimento de um fármaco, como originalidade, acessibilidade e possibilidade de ser patenteado (Piccirillo & Amaral, 2018).

A riqueza da biodiversidade brasileira não condiz com os poucos exemplos de fármacos de origem natural desenvolvidos no país, como o anti-inflamatório tóxico desenvolvido a partir da *Cordia verbenaceae* (a erva-baleeira) (Fernandes et al. 2007), o ansiolítico desenvolvido a partir do maracujá-azedo (*Passiflora incarnata*) (Marchart et al., 2003) e a pomada cicatrizante desenvolvida a partir do barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*) (Minatel et al., 2010). Além disso, proliferam no país apenas os fitoterápicos que usam na forma bruta partes das plantas.

O ESTUDO DA BIODIVERSIDADE BRASILEIRA E A FAPESP

Desde o grupo inicial de pesquisadores que planejou a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), tivemos uma intensa participação de pesquisadores que atuavam em áreas hoje abrangidas pela biodiversidade. Destacam-se, entre eles: Paulo Emílio Vanzolini (1961 a 1967, e novamente de 1977 a 1979, e de 1986 a 1993), que auxiliou até mesmo na redação da lei que viria a criar a FAPESP e, depois, integrar o 1º Conselho Superior da Fundação; Crodowaldo Pavan (1961 a 1963), também membro do 1º Conselho Superior, e Warwick Estevam Kerr, primeiro diretor-científico da FAPESP (1962 a 1964). Consequentemente, a área recebe atenção desde as primeiras concessões de financiamentos de projetos de pesquisa.

A FAPESP aprovou, em 1962 (seu primeiro ano de funcionamento), a possibilidade de apoio financeiro a projetos de pesquisa por meio de duas modalidades: as Iniciativas e os Programas Especiais. As propostas das Iniciativas (hoje chamadas de Auxílios à Pesquisa) e dos Programas Especiais (hoje chamados de Projetos Temáticos) partiam da própria Fundação, geralmente com base em recomendações de pesquisadores, eram analisadas pela Diretoria Científica e depois submetidas ao Conselho Técnico Administrativo e ao Conselho Superior.

Dois dos primeiros Programas Especiais focavam em aspectos da biodiversidade:

tem balance, but are also rich in substances of high added value that will be lost.

For example, from the species *Endopleura uchi* (Humiriaceae), known as Uxi, a substance with anti-inflammatory properties, bergenin, was isolated (Magalhães et al., 2007). This substance had its chemical structure synthesized and nowadays is produced by large multinational laboratories. Just 1 milligram of the synthetic product costs more than 1,000 dollars, more than 1 gram of gold.

The richness of Brazilian biodiversity is not reflected in the small number of drugs of natural origin developed in Brazil. These include the topical anti-inflammatory developed from *Cordia Verbenaceae* (black or wild sage) (Fernandes et al., 2007), the anxiolytic developed from purple passionflower (*Passiflora incarnata*) (Marchart et al., 2003) and the healing ointment developed from barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*) (Minatel et al., 2010). Beyond these, only herbal medicines, phytotherapies, that use unprocessed plant parts have proliferated in Brazil.

FAPESP AND THE STUDY OF BRAZILIAN BIODIVERSITY

Since the initial group of researchers that planned the São Paulo State Research Foundation (FAPESP), we have had an intense participation of researchers who worked in areas now covered by biodiversity. Among them we highlight Paulo Emílio Vanzolini (Board Member 1961 to 1967, and again from 1977 to 1979, and from 1986 to 1993), who helped to draft the law that created FAPESP, and was subsequently part of the 1st Superior Council of the Foundation; Crodowaldo Pavan (1961 to 1963), also a member of the 1st Superior Council, and Warwick Estevam Kerr, first scientific director of FAPESP (1962 to 1964). Consequently, the area has received attention since the first grants of funding for research projects.

FAPESP approved, in 1962 (its first year of operation), the possibility of financial support to research projects through two modalities: Initiatives and Special Programs. The proposals for Initiatives (today called Auxílios à Pesquisa) and Special Programs (today called Projetos Temáticos) came from the Foundation itself, generally based on researchers' recommendations. These proposals were then analyzed by the Scientific Board and then submitted to the Technical Administrative Council and to the Superior Council.

Not surprisingly two of the first Special Programs focused on aspects of biodiversity:

a) The Center for Comparative Histology for Brazilian Wild Mammals, proposed by

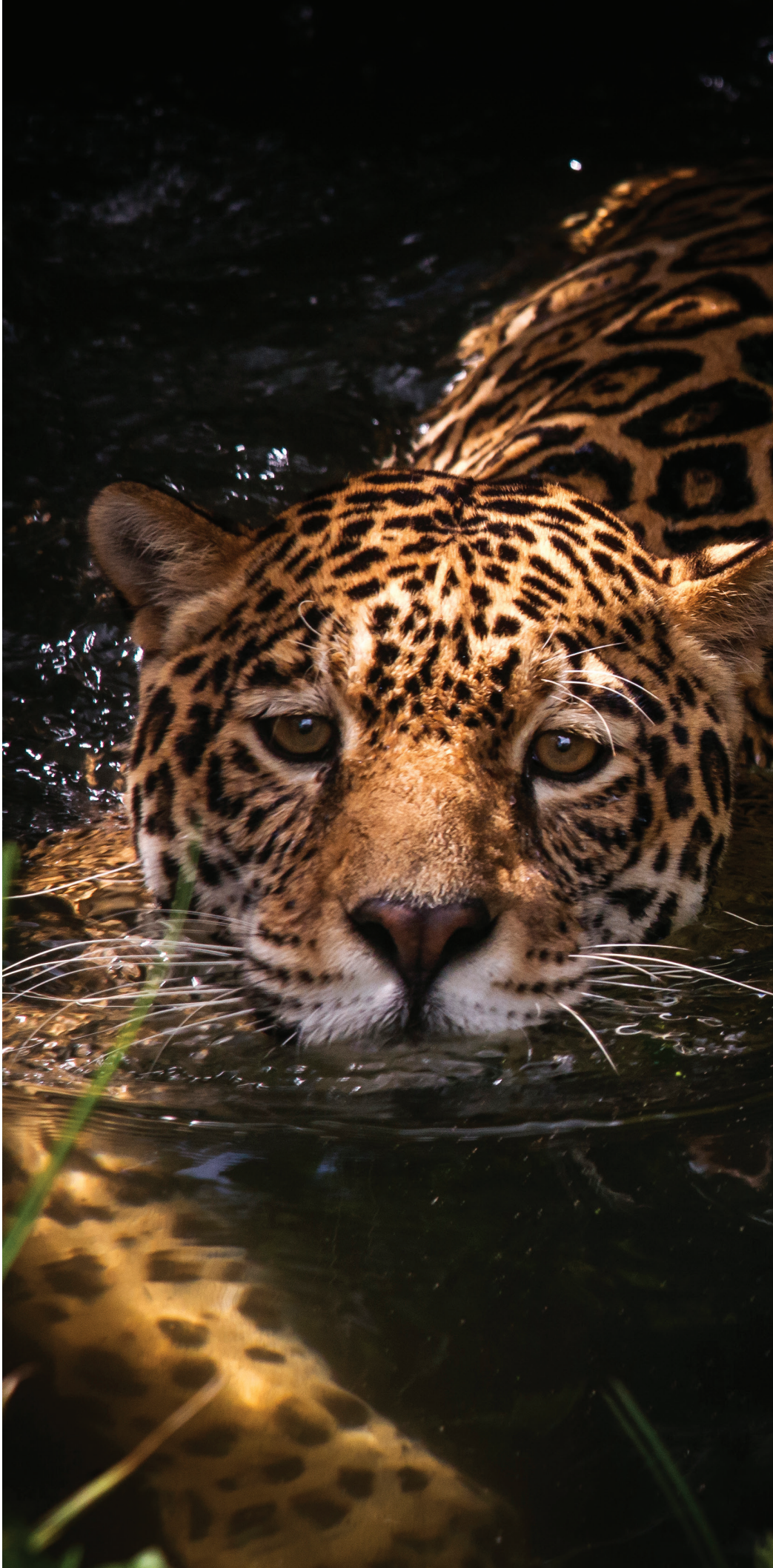
the Department of Histology and Embryology of The School of Medicine of São Paulo (USP), with the participation of the Departments of Histology of the Faculty of Veterinary Medicine, Odontology, Philosophy, Sciences and Letters. b) Studies about the plant on *Stevia rebaudiana* Bert. 1905 (Asteraceae), including the Institute of Botany, the Agricultural Institute of Campinas and Ribeirão Preto Faculty of Medicine, São Paulo Faculty of Medicine, Luiz de Queiroz Superior School of Agriculture and the Faculty of Pharmacy and Biochemistry of USP.

At the end of the 1960s, FAPESP led the development of field studies, both to better understand the Brazilian biodiversity and to improve the cartographic bases through the scientific interpretation of the landscape, with the formation of the collection of aerial photos and the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) Map Locality Index. The Permanent Expedition to the Amazon Project, developed in partnership with the National Institute for Amazonian Research (INPA), the Emilio Goeldi Museum of Pará (MPEG) and Harvard University until 1987, resulted, for example, in a significant increase in the collection of specimens in all these institutions, especially in the Museum of Zoology at USP.

In 1967, to facilitate the exploration of the extremely important aquatic environments of the Amazon, FAPESP funded the construction of two boats in Oriximiná, Pará: the Lindolpho Guimarães, 11.5 meter long, and the Garbe, 18 meters long, were used by researchers from São Paulo, Rio de Janeiro, Belém, Manaus and the United States in scientific expeditions to unexplored regions of the Amazon. At the conclusion of the project the boats were donated to National Institute of Amazonian Research (INPA).

The Ecological Coastal Centers Project, resulted amongst other products, led to the final definition of the Network of Coastal Centers associated with São Paulo University: the Southern Center in Cananeia, the São Sebastião Center (currently CEBIMAR) and the Northern Center in Ubatuba.

Still in the 1960s, within the scope of biodiversity research, we highlight FAPESP's support for the creation of the Laboratory of Chemistry of Natural Products (IQ-USP), under the supervision of Otto Richard Gottlieb and Paschoal Senise. A Laboratory which also had the support of the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) and the Brazilian Innovation Agency (FINEP), through the Program of Support to Scientific and Technological Development. Since the beginning of its activities, the laboratory maintained an intense collaboration with INPA, Emilio Goeldi Museum (MPEG), and the Federal Universities



© LEOMERCON / ISTOCKPHOTO.COM

- a) Centro de Histologia Comparada de Mamíferos Silvestres Brasileiros, proposto pelo Departamento de Histologia e Embriologia da Faculdade de Medicina de São Paulo (USP), com participação dos Departamentos de Histologia das Faculdades de Medicina Veterinária, Odontologia e Filosofia, Ciências e Letras;
- b) Estudos sobre a planta *Stevia rebaudiana* Bert. 1905 (Asteraceae), integrando Instituto de Botânica, Instituto Agrônomico de Campinas, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Faculdade de Medicina de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz e Faculdade de Farmácia e Bioquímica da USP.

No final da década de 1960, a FAPESP liderava o treinamento de estudos de campo, tanto para melhor conhecer a biodiversidade brasileira como para aprimorar as bases cartográficas através da interpretação científica da paisagem, com a formação do acervo de fotos aéreas e o Índice de Localidades do Mapa do IBGE. O *Projeto Expedição Permanente à Amazônia*, desenvolvido em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), o Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e a Universidade Harvard até 1987, resultou, por exemplo, em um significativo aumento do acervo de espécimes em todas essas instituições, especialmente no Museu de Zoologia da USP.

Para permitir a exploração também dos importantíssimos ambientes aquáticos da região amazônica, a FAPESP apoiou, em 1967, a construção de dois barcos em Oriziminá, no Pará: o *Lindolpho Guimarães*, de 11,5 metros de comprimento, e o *Garbe*, com 18 metros. Os barcos foram usados por pesquisadores de São Paulo, Rio de Janeiro, Belém, Manaus e dos Estados Unidos em viagens científicas a regiões inexploradas da Amazônia. Terminado o projeto, os barcos foram doados ao INPA.

Já o Projeto *Bases Ecológicas do Litoral* resultou, entre outros produtos, na definição final da Rede de Bases Litorâneas associadas à Universidade de São Paulo: a Base Sul em Cananeia, a Base de São Sebastião (hoje CEBIMAR) e a Base Norte em Ubatuba.

Ainda na década de 1960, no âmbito da pesquisa em biodiversidade, destaca-se o apoio à criação do Laboratório de Química de Produtos Naturais (IQ-USP), sob a supervisão de Otto Richard Gottlieb e Paschoal Senise, que contou também com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), através do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Desde o início das atividades, o laboratório manteve intensa colaboração com o INPA, Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), Universidades Federais do Ceará, Paraíba, Alagoas, Minas Gerais e a Rural do Rio de Janeiro. Entre a sua criação e 2001, este laboratório já havia formado 44 mestres e 78 doutores.

Em 1978, a FAPESP aprovou o *Projeto Especial Tipologia de Represas do Estado de São Paulo*, coordenado por José Galizia Tundisi, que estudou 52 reservatórios paulistas do ponto de vista limnológico. Este projeto, que pode ser considerado o pioneiro da limnologia moderna no Brasil, ampliou o conhecimento sobre os mecanismos de funcionamento de represas, aprimorou a metodologia para comparação de reservatórios e enriqueceu as coleções de organismos aquáticos mantidos em institutos de pesquisa.

Pela primeira vez em estudos da biodiversidade, formou-se uma rede de pesquisadores a partir do *Projeto Temático Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo* (a partir de 1995), inicialmente coordenado pelo Prof. Hermógenes de Freitas Leitão Filho. De forma inédita, este projeto reuniu todos os botânicos especialistas em fanerógamas do estado de São Paulo, que somaram esforços de pesquisa. Isto foi possível graças à padronização de parâmetros, tanto para avaliar o acervo já depositado em herbários como para coletas complementares planejadas de forma metódica, conforme um estudo prévio que identificou o esforço de coleta já realizado em cada região do estado. Infelizmente, o Projeto não adotou o uso de GPS para as amostragens, o que impede a incorporação dos dados em sistemas como o Global Biodiversity Infor-

of Ceará, Paraíba, Minas Gerais and Rio de Janeiro Rural University. Since its creation until 2001, this laboratory trained 44 master's and 78 doctoral students.

In 1978, FAPESP approved the Special Project for Dam Typology of São Paulo State, coordinated by José Galizia Tundisi, which studied 52 water reserves of São Paulo state from a limnological point of view. This project, considered a pioneering effort in modern Brazilian limnology, increased the understanding of dam functioning mechanisms, improving the methodology to compare reservoirs, and improved collections of aquatic organisms kept at research institutes.

For the first time in biodiversity studies, a network of researchers was formed based on the Phanerogamic Flora Thematic Project of São Paulo State (starting in 1995), initially coordinated by Prof. Hermógenes de Freitas Leitão Filho. In an unprecedented way, this project brought together all botanists specialized in phanerogams in the state of São Paulo, who joined its research efforts. This was possible thanks to the standardization of parameters, both when evaluating collection already deposited in herbaria, and for methodically planned complementary collections. It was based on a prior study that identified the collection effort already carried out in each region of the state. Unfortunately, the project did not use GPS for sampling, which hampered the inclusion of data in systems, such as the Global Biodiversity Information Facility (Global Biodiversity Information Facility, 2022).

The project outcomes are associated with the series of books entitled Phanerogamic Flora of São Paulo State, thus comprising eight volumes published formerly known, covering about 50% of the 195 families, 1,776 genera and 7,305 known native species of the São Paulo state.

In 1999, FAPESP revolutionized the study of Brazilian biodiversity creating the Research Program in Characterization, Conservation and Sustainable Use of Biodiversity of São Paulo State, BIOTA/FAPESP (Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade, 2022a). This program sought to understand, map and analyze biodiversity in São Paulo state, including fauna, flora and microorganisms. Additionally, it evaluated possibilities for sustainable use of plants, animals and microorganisms containing molecules with economic potential, and helped to formulate conservation policies.

The highly innovative program, named Virtual Institute of Biodiversity, was the first biodiversity research program in Bra-

zil to use the internet to organize and bring together researchers. It also standardized the inclusion of GPS based information of the sampling site, and adopted the Darwin Core (Biodiversity Information Standards, 2022) as a data standard.

Due to the excellent performance throughout its first 10 years, FAPESP renewed funding for BIOTA/FAPESP program in 2009, until the end of the United Nations Decade on Biodiversity (2011-2020). In this renewal, the Program's Goals and Strategies Plan was updated, expanding its scope to the entire Brazilian territory and changing its name to Research Program in Characterization, Conservation, Restoration and Sustainable use of Biodiversity, highlighting the need to include restoration as a strategy to conserve Brazilian biodiversity. The renewal aimed to extend and further improve returns on a coordinated investment in research, combining biodiversity research, personnel training, bioprospecting and impact on public policy. In this renewal, the Program's Goals and Strategies Plan (Joly et al., 2009) was updated, expanding its scope to the whole Brazilian territory and changing its name to Research Program in Characterization, Conservation, Restoration and Sustainable Use of Biodiversity, thereby demonstrating the need to include restoration as a strategy to preserve Brazilian biodiversity.

Figure 5 numerically summarizes the results of the BIOTA/FAPESP Program throughout its 20 years of existence. Notably, in terms of contributions to the improvement of public policies, 18 legal instruments specifically indicate that they were formulated “[...] with support from the [BIOTA] program” (Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade, 2022b, Políticas para a Natureza).

Currently, the Steering Committee of the Program is finalizing the Strategic BIOTA/FAPESP Program Plan for the 2020-2030 period (Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade, 2022c). This coincides with the United Nations Decade of Restoration and Decade of Ocean Science.

Another decision by FAPESP with significant importance for biodiversity research was the establishment of International Cooperation and Exchange Agreements. Since the first scientific exchange agreement, signed by the British Council in 1985, FAPESP ratified hundreds of partnerships with funding agencies and institutions on all continents. These agreements allowed for the internationalization of biodiversity research and gave greater visibility on the

mation Facility (Global Biodiversity Information Facility, 2022).

O principal produto do projeto é a série de livros *Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo*, com oito volumes publicados até o momento, que abrangem cerca de 50% das 195 famílias, 1.776 gêneros e 7.305 espécies nativas conhecidas do estado de São Paulo.

Em 1999, a FAPESP revolucionou o estudo da biodiversidade brasileira criando o Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade do Estado de São Paulo, o Programa BIOTA-FAPESP (Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade, 2022a), com o objetivo de conhecer, mapear e analisar a biodiversidade do estado de São Paulo, incluindo a fauna, a flora e os microrganismos. Além disso, também avaliar as possibilidades de exploração sustentável de plantas ou de animais com moléculas de potencial econômico e subsidiar a formulação de políticas de conservação.

Altamente inovador, por ser o primeiro programa brasileiro de pesquisas em biodiversidade a utilizar a internet como forma de organização e integração de pesquisadores, e por padronizar a inserção de dados de local da coleta obtidos com GPS, bem como adotar o Darwin Core (Biodiversity Information Standards, 2022) como padrão de dados, o Programa foi denominado Instituto Virtual da Biodiversidade.

Em função do excelente desempenho nos primeiros 10 anos de existência, em 2009, a FAPESP renovou o apoio ao Programa BIOTA/FAPESP até o fim da Década da Biodiversidade das Nações Unidas (2011-2020). A renovação teve como objetivo prolongar e melhorar ainda mais o retorno de um investimento coordenado em pesquisa, combinando pesquisa de biodiversidade, treinamento de pessoal, bioprospecção e impacto nas políticas públicas. Nesta renovação, o Plano de Metas e Estratégias (Joly et al., 2009) do Programa foi atualizado, ampliando seu escopo para todo o território brasileiro e mudando seu nome para Programa de Pesquisas em

Em 1999, a FAPESP revolucionou o estudo da biodiversidade brasileira criando o Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade do Estado de São Paulo, o Programa BIOTA-FAPESP (...)

Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade, evidenciando a necessidade de incluir a restauração como estratégia para conservar a biodiversidade brasileira.

A Figura 5 sumariza numericamente os resultados do Programa BIOTA/FAPESP em 20 anos de existência. Destacando-se que, em termos de contribuições ao aperfeiçoamento de políticas públicas, 18 instrumentos legais mencionam especificamente que foram construídos “[...] com suporte do programa [BIOTA]” (Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade, 2022b, Políticas para Natureza).

Atualmente, a Coordenação do Programa está finalizando seu Plano Estratégico do Programa BIOTA/FAPESP para o período 2020-2030 (Programa de Pesquisas

international stage to the quality of research carried out in Brazil. Undoubtedly, this contributed to Brazilian researchers gaining importance in organizations such as the Convention on Biological Diversity/CBD and the Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services/IPBES. Another example is the creation of the Brazilian Biodiversity and Ecosystem Services Platform/BPBES (Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos, 2022).

Initially, support for scientific exchanges with foreign countries assumed three main forms: doctoral and post-doctoral scholarships, presentation of research in scientific meetings and visiting professors. But it quickly moved to the phase of multinational teams and joint project financing. Every year, the BIOTA Program has joint calls with the National Science Foundation/US, National Environmental Resources Council/UK and the Netherlands Organization for Scientific Research/Netherlands.

EXPANDING UNDERSTANDING OF THE RELATIONSHIP BETWEEN BIODIVERSITY AND THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

Throughout the text, some of the most obvious relationships between biodiversity, ecosystem services and Sustainable Development Goals have been highlighted. In this section, some examples of this relationship that may not seem so obvious will be explored, showing how biodiversity and ecosystem services permeate all other 15 SDGs.

The 2030 Sustainable Development Agenda outlines an ambitious set of combined goals and objectives to confront a series of global social challenges. Biodiversity and ecosystems feature prominently in many of the Sustainable Development Goals (SDGs) and associated targets. They contribute directly to human well-being and to development priorities.

Biodiversity is at the heart of many economic activities. In global terms, nearly half the human population depends directly on natural resources for their subsistence, and many of the most vulnerable people depend directly on biodiversity to satisfy their daily subsistence needs.

The post-2020 (Convention on Biological Diversity, 2022), global biodiversity framework, currently under discussion by the Biological Diversity Convention, establishes a set of priorities for actions to reverse the biodiversity crisis. This framework and

the SDGs are mutually supportive and reinforcing, given that the implementation of one contributes to the achievement of the other. In this section, we will consider some of the relationships between biodiversity, strongly related to SDGs 14 and 15, and other SDGs.

Biodiversity and fighting hunger (related to SDG 2) - see chapter 4 (Franco et al.) Biodiversity is literally the root of strategies to fight hunger. Not because we feed on biodiversity, or on part of it, although this would already be sufficient to understand its importance. It is because the relationship between biodiversity and the fight against hunger presupposes important benefits that biodiversity provides for people, however discreet. One example is the importance of pollinators, especially bees, for plant biodiversity, particularly for agricultural cultivars such as coffee and soybeans (Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos, 2019). The relevance of biodiversity for agriculture also includes biological control, a strategy for combatting pests that directly exploits the maintenance of conserved environments. It also involves the use of ecological relationships (for instance, hyperparasitism) and of specific organisms (for instance, wasps) reproduced in laboratories.

Biodiversity is a source of genetic variability for improvement or maintenance of cultivars or animals raised for consumption, as in farming and aquaculture (farming of aquatic organisms). Extraction activities, such as collecting fruits and seeds in the Amazon, or artisanal fishing along the Brazilian coast, also depend on the structure and functioning of natural systems and the maintenance of fish species.

Biotechnology is another example of the benefits provided by biodiversity: natural products derived from microorganisms (ex.: bacteria and fungi), and terrestrial and marine plants and animals, are prospected and analyzed with the aim of producing bioactive compounds for different types of applications, including in the food industry, as already noted.

Among the systemic effects of biodiversity is its role in climate regulation, especially rainfall patterns, that are important for agriculture, for example. This reveals the dependence of much of the agriculture in the Midwest, Southeast, and South of Brazil on rainfall originating in the Amazon rainforest. Vegetation contributes to absorption of rain water into the soil and its remobilization into the atmosphere through the evapotranspiration process. This moisture forms what have come to be known as aerial rivers that leave the Amazon region and fall in

em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade, 2022c), coincidindo com a Década da Restauração e a Década dos Oceanos da ONU.

Outra decisão da FAPESP de enorme importância para a pesquisa em biodiversidade foi o estabelecimento de Acordos Internacionais de cooperação e intercâmbio. Desde o primeiro acordo de intercâmbio científico, assinado com o Conselho Britânico em 1985, a FAPESP celebrou centenas de parcerias com Agências de Fomento e instituições de todos os continentes.

A existência desses acordos permitiu a internacionalização da pesquisa em biodiversidade e deu visibilidade à qualidade da pesquisa desenvolvida por brasileiros no cenário internacional. Isso, sem dúvida, contribuiu para que pesquisadores brasileiros assumissem o protagonismo em organizações como a Convenção da Diversidade Biológica/CDB e a Plataforma Intergovernamental de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos/IPBES. Outro exemplo é a criação da Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos/BPBES (2022).

Inicialmente, o apoio ao intercâmbio científico com o exterior assumiu três formas principais: bolsas de estudo para doutorado e pós-doutorado, apresentação de trabalhos em reuniões científicas e vinda de professores visitantes. Mas, rapidamente, passou para a fase de equipes multinacionais e ao financiamento conjunto de projetos. Anualmente, o Programa BIOTA tem chamadas conjuntas com a National Science Foundation/US, National Environmental Resources Council/UK e Netherlands Organization for Scientific Research/Países Baixos.

AMPLIANDO O OLHAR SOBRE AS RELAÇÕES ENTRE BIODIVERSIDADE E OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Ao longo do texto fomos destacando algumas das relações mais óbvias entre a biodiversidade, os serviços ecossistêmicos e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

Mas, rapidamente, passou para a fase de equipes multinacionais e ao financiamento conjunto de projetos.

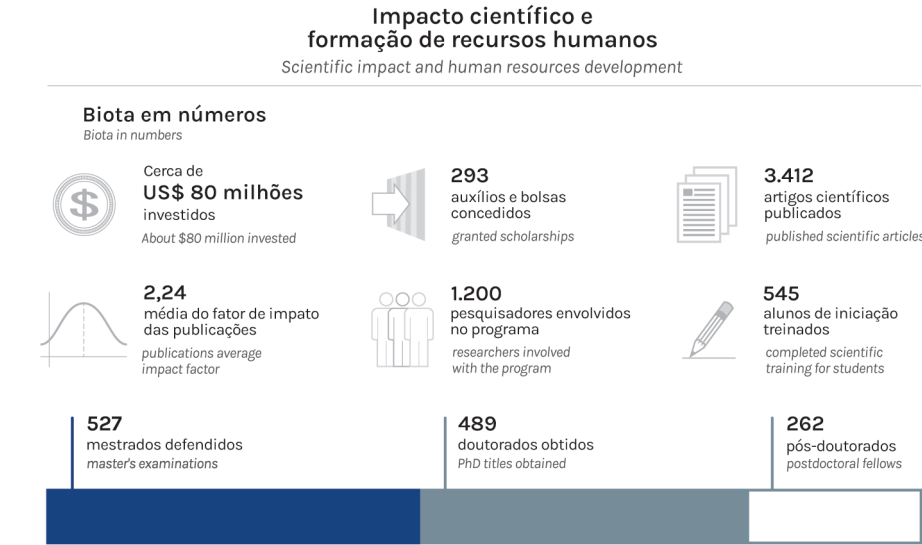


Figura 5. Recursos investidos, publicação de trabalhos científicos e formação de recursos humanos pelo Programa BIOTA/FAPESP de 1999 a 2020. Fonte: Pesquisa FAPESP por Marcos Pivetta, Edição 296, 2020 (adaptado com autorização, licença original CC BY-NC-ND 2.0, fontes originais: Carlos Joly, Simone Vieira e BV FAPESP).
Figure 5. Resources invested, publication of scientific papers and human resources training of BIOTA/FAPESP Program from 1999 to 2020. Source: Pesquisa FAPESP by Marcos Pivetta, Ed 296, 2020 (adapted with authorization, original license CC BY-NC-ND 2.0, original sources: Carlos Joly, Simone Vieira and BV FAPESP).

Neste item vamos explorar alguns exemplos dessa relação que podem não parecer tão óbvios, demonstrando como de fato biodiversidade e serviços ecossistêmicos permeiam todos os demais 15 ODS.

A Agenda para o Desenvolvimento Sustentável de 2030 estabelece uma ambiciosa estrutura de objetivos e metas indivisíveis para enfrentar uma série de desafios sociais globais. Biodiversidade e ecossistemas se destacam em muitos dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e metas associadas. Eles contribuem diretamente para o bem-estar humano e para as prioridades de desenvolvimento.

A biodiversidade está no centro de muitas atividades econômicas. Em termos globais, quase metade da população humana é diretamente dependente dos recursos naturais para sua subsistência, e muitas das pessoas mais vulneráveis dependem diretamente de biodiversidade para satisfazer suas necessidades diárias de subsistência.

O marco global da biodiversidade pós-2020 (Convention on Biological Diversity, 2022), atualmente em discussão pela Convenção sobre Diversidade Biológica, estabelece um conjunto de prioridades de ações para reverter a crise da biodiversidade. Este marco e os ODS se apoiam e reforçam mutuamente, uma vez que a implementação de um contribui para a realização do outro. Nesta seção abordaremos algumas das relações entre a biodiversidade, fortemente relacionadas aos ODS 14 e 15, e os demais ODS.

Biodiversidade e o combate à fome (relacionado ao ODS 2) – vide capítulo 4 Franco et al.

A biodiversidade é, literalmente, a raiz das estratégias de combate à fome. Não porque nos alimentamos da biodiversidade, ou de parte dela, embora isso já fosse suficiente para compreendermos sua importância. Mas porque a relação entre a biodiversidade e o combate à fome pressupõe importantes benefícios que ela presta para as pessoas, ainda que de forma muito discreta. Um exemplo é a importância dos polinizadores, em especial as abelhas, pa-

ra a biodiversidade vegetal, mas, especialmente, para cultivos agrícolas como soja e café (Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos, 2019). A relevância da biodiversidade para a agricultura também considera o controle biológico, estratégia de combate de pragas que se beneficia diretamente da manutenção de espaços conservados, mas também do uso de relações ecológicas (por exemplo, o hiperparasitismo) e de organismos específicos (por exemplo, as vespas) reproduzidos em laboratório.

A biodiversidade é fonte de variabilidade genética para melhoramento, ou mesmo manutenção, de cultivares ou de animais criados para o consumo, como na pecuária e na aquicultura (cultivo de organismos aquáticos). A realização de atividades extrativistas, como a coleta de frutos e sementes na Amazônia ou a pesca artesanal ao longo da costa brasileira, também depende da estrutura e do funcionamento dos sistemas naturais e da manutenção das espécies pesqueiras.

A biotecnologia é outro exemplo de benefício provido pela biodiversidade: produtos naturais derivados de microrganismos (como bactérias e fungos), plantas e animais terrestres e marinhos são prospectados e analisados na perspectiva de produção de compostos bioativos para diferentes tipos de aplicações, incluindo a indústria alimentícia, como já comentado neste texto.

Dentre os efeitos sistêmicos da biodiversidade está seu papel de regular o clima, em especial os padrões de chuva, que são importantes para a agricultura, por exemplo. Revela-se, aqui, a dependência de boa parte da agricultura do Centro-oeste, Sudeste e Sul do Brasil das chuvas que se originam a partir da Floresta Amazônica. A vegetação contribui para a absorção da água da chuva pelo solo e, depois, por meio do processo de evapotranspiração, sua remobilização para a atmosfera. Essa umidade forma o que tem sido chamado de rios aéreos que saem da região amazônica e precipitam nas regiões Centro-oeste, Sudeste e Sul do país.

central eastern, southeastern and southern regions of Brazil.

Whether in the examples above, or in several others that can be cited, the contribution of biodiversity to combatting hunger strongly depends on its conservation. Biodiversity conservation depends on confronting what threatens it, which vary from place to place and from system to system. Examples include pollution of the oceans, deforestation, and global warming.

Goals 14.4, 14.6 and 14.b b (United Nations, 2015c) dialogue with the need to modify the way fishing is done, considering:

14.4 By 2020, effectively regulate harvesting and end overfishing, illegal, unreported and unregulated fishing and destructive fishing practices and implement science-based management plans, in order to restore fish stocks in the shortest time feasible, at least to levels that can produce maximum sustainable yield as determined by their biological characteristics.

14.6 By 2020, prohibit certain forms of fisheries subsidies which contribute to overcapacity and overfishing, eliminate subsidies that contribute to illegal, unreported and unregulated fishing and refrain from introducing new such subsidies, recognizing that appropriate and effective special and differential treatment for developing and least developed countries should be an integral part of the World Trade Organization fisheries subsidies negotiation, and

14.b Provide access for small-scale artisanal fishers to marine resources and markets.

Biodiversity and basic sanitation (related to SDGs 2, 3, 6 and 7)
In Brazil, basic sanitation is defined by the Federal Constitution and regulated by Law no 11.445, January 5, 2007 (Brasil, 2007), as a set of public services, infrastructure and facilities for drinking water supply, sanitary sewage, urban cleaning and solid waste management. The new legal framework of basic sanitation established in 2020 (Law no 14.026, July 15 2020 (Brasil, 2020) defines the responsibilities of the system and set goals to ensure these services to the entire population.

The most recent data from IBGE National Survey of Basic Sanitation (PNSB) (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017), indicates that around 85% of residences are serviced by the general water supply network, while only 68% are connected to the sewage network. While the role of inadequate settlements for dwellings and informal housing needs to be debated, the deficient levels of basic sanitation in Brazil are undeniable, directly

affecting water use for consumption and food production (combatting hunger, responsible production and consumption, SDGs 2 and 7, respectively).

At the same time, diarrhea, bacterial dysentery, hepatitis, cholera and leptospirosis, which also compromise health and well-being (SDG 3), are among the main diseases associated with poor sanitation.

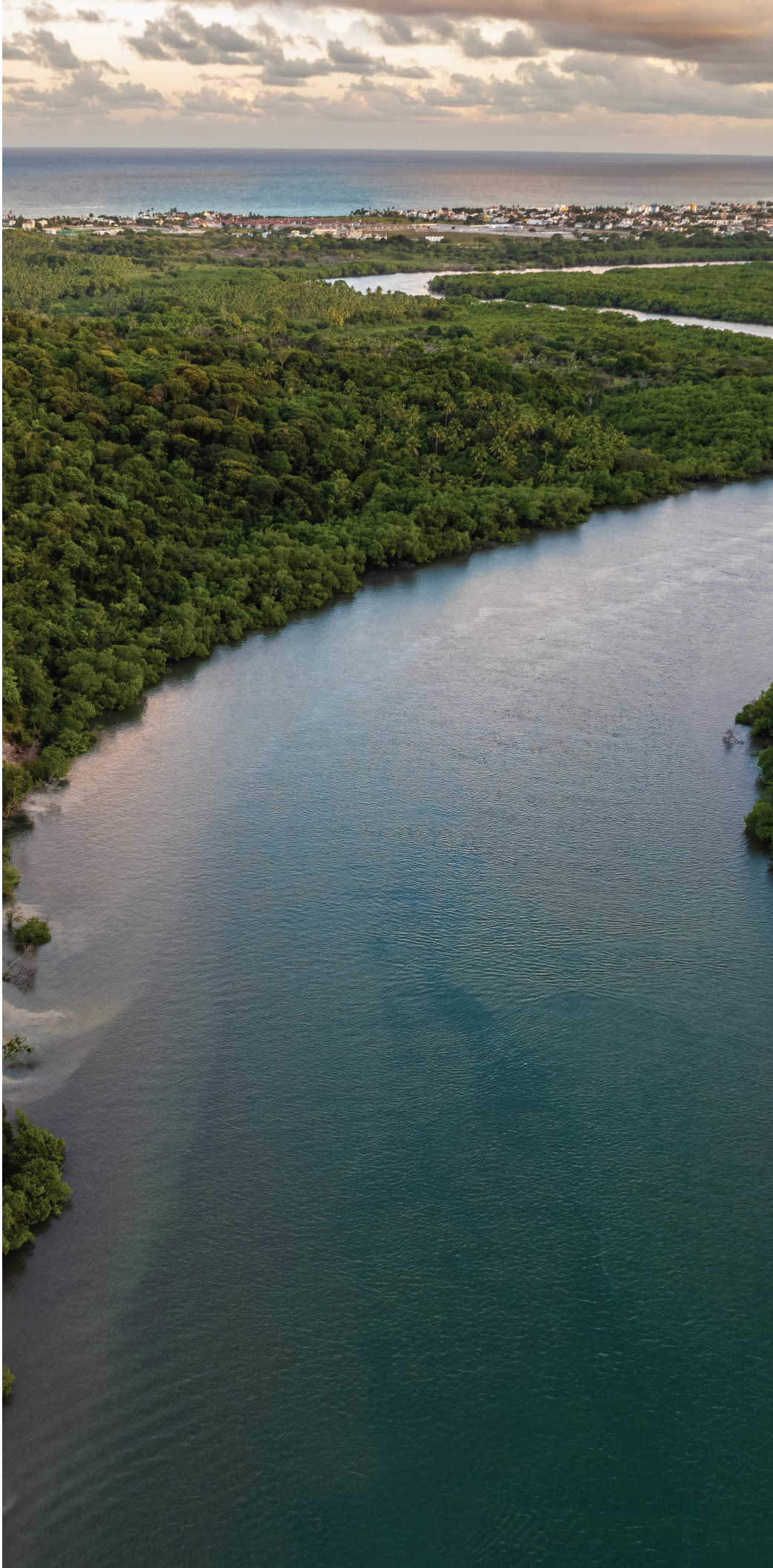
The inefficiency and inadequacy of the collection and treatment systems for sewage and solid waste leads to diverse types of anthropogenic materials, from pathogens to chemical substances, which are dumped into terrestrial and aquatic environments. This produces negative biodiversity outcomes (SDGs 14 and 15), affecting not only human health, but also the health of ecosystems.

As previously mentioned, a predatory economic model based on the production of consumable goods is an important vector for technological development of new materials and products for several applications, thereby driving the production and consumption cycle. An example of this is the problem of plastic waste, which includes from nanoplastics particles (between 1nm to 1 µm in size) up to macroplastics (above 200 mm in size). These are now considered omnipresent materials, being detected in all environmental compartments and levels of biological organization (MacLeod et al., 2021). Recently, microplastic fibers were detected in amphipod tissues (small crustaceans without a shell) collected in the Mariana Trench, at a depth of more than 10 thousand meters, in one of the deepest parts of the ocean (Jamieson et al., 2019)

The accumulation of plastics in the oceans, such as the Pacific Garbage Island, has led to colonization by microbial communities specific to this waste. These communities are defined as plastisphere (Zettler et al., 2013), and constitute new habitats in the marine environment. Similarly surprising are the microplastic fragments detected in human placentas, also evidencing the transfer of these waste through trophic relationships (Ragusa et al., 2021), as has already been demonstrated for heavy metals such as mercury.

Chemical pollution is also an emerging global problem associated with basic sanitation. The database of the American Chemical Society (CAS Databases, 2022) alone has more than 260 million records (CAS number), compiled since the first period of industrialization. Of this total, about 350,000 substances are currently marketed (Wang et al., 2020) and can therefore be considered potential contaminants, as wastewater and waste treatment systems differ in efficiency, making the pollution problem even more complex.

© POLYANA VENTURA / ISTOCKPHOTO.COM



Seja pelos exemplos acima, ou por diversos outros que podem ser citados, o papel da biodiversidade em contribuir para o combate à fome depende profundamente de sua conservação. E a conservação da biodiversidade depende do combate às suas ameaças que variam de local para local, de sistema para sistema. Como exemplos é possível citar a poluição dos oceanos, o desmatamento ou o aquecimento global.

As metas 14.4, 14.6 e 14.b (United Nations, 2015c) dialogam com a necessidade de modificar a forma como a pesca vem sendo feita, considerando:

- 14.4 Até 2020, efetivamente regular a coleta e acabar com a sobrepesca ilegal, não reportada e não regulamentada, e as práticas de pesca destrutivas. Implementar planos de gestão com base científica para restaurar populações de peixes no menor tempo possível, pelo menos a níveis que possam produzir rendimento máximo sustentável, como determinado por suas características biológicas;
- 14.6 Até 2020, proibir certas formas de subsídios à pesca que contribuem para a sobrecapacidade e a sobrepesca. Eliminar os subsídios que contribuíam para a pesca ilegal, não reportada e não regulamentada, e abster-se de introduzir novos subsídios como estes, reconhecendo que o tratamento especial e diferenciado adequado e eficaz para os países em desenvolvimento e os países relativamente menos desenvolvidos deve ser parte integrante da negociação sobre subsídios à pesca da Organização Mundial do Comércio; e
- 14.b Proporcionar o acesso dos pescadores artesanais de pequena escala aos recursos marinhos e aos mercados.

Biodiversidade e saneamento básico (relacionado aos ODS 2, 3, 6 e 7)

No Brasil, o saneamento básico é definido pela Constituição Federal e regulamentado pela Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (Brasil, 2007), como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações

de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. O novo marco legal do saneamento básico promulgado em 2020 (Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020) (Brasil, 2020) define as atribuições do sistema e estabelece metas para garantia desses serviços a toda a população.

Dados mais recentes da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE (PNSB) (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017) indicam que cerca de 85% dos domicílios são atendidos pela rede geral de abastecimento de água, enquanto apenas 68% dos domicílios apresentam esgotamento sanitário. Embora os dados possam ser discutidos em função da existência de aglomerados subnormais de habitação e ocupações irregulares, é indiscutível a situação deficitária do Brasil em relação ao saneamento básico, impactando diretamente os usos da água para o consumo e produção de alimentos (combate à fome, consumo e produção responsável, ODS 2 e 7, respectivamente).

Por outro lado, diarreia, disenteria bacteriana, hepatite, cólera e leptospirose figuram entre as principais doenças associadas à falta de saneamento, comprometendo também a saúde e o bem-estar (ODS 3).

Já a combinação da ineficiência com a insuficiência do sistema na coleta e tratamento de esgoto e resíduos sólidos resulta no lançamento dos mais diversos materiais antropogênicos no ambiente terrestre e aquático, desde patógenos a substâncias químicas, produzindo, assim, efeitos sobre a biodiversidade (ODS 14 e 15), afetando não apenas a saúde humana, como também a saúde dos ecossistemas.

Conforme já mencionado, o modelo econômico predatório com base na produção de bens de consumo é um vetor relevante no desenvolvimento de tecnologias para novos materiais e produtos das mais variadas aplicações, pressionando, assim, o ciclo da produção e consumo. Um exemplo disso é a problemática dos resíduos plásticos, que incluem desde partículas nanoplásticas (de tamanho entre 1 nm até 1 µm) até macroplásticas (tamanho acima de 200 mm)

Once in the environment, these chemicals can be available to all levels of organization of the biological spectrum. They produce toxic effects from the simplest to the most complex forms of life, ranging from organisms to effects on whole communities, thus compromising the structure and functioning of ecosystems. As a result, pollution becomes one of the main factors in the loss of biodiversity, along with climate change, habitat suppression, overfishing, and land use and occupation.

Therefore, the guarantee of an efficient and comprehensive sanitation system, as advocated in the new Brazilian legal framework, is essential to meet the targets proposed by the SDGs for biodiversity conservation.

Biodiversity and the generation of affordable and clean energy (related to SDG 7)

Affordable and clean energy is a crucial element for the transition to a low carbon economy, a context in which biodiversity also plays an important role. Among these roles is the generation of renewable and clean energy, which finds in the ocean a wealth of possibilities, such as wind, wave and tidal, thermal gradients and salinity.

The High-Level Panel for a Sustainable Ocean Economy proposes a resignification of the relationship between the ocean and society within the context of climate change. This includes three pillars: effective protection of nature, sustainable production, and equitable prosperity. This vision is associated with climate change mitigation and adaptation measures. For example, it is estimated that 40 times more renewable energy can be generated from the ocean by 2050, with the potential to contribute to a 20% cut in greenhouse gases emitted into the atmosphere. This is necessary to keep the temperature increase of the planet within the range of 1.5 °C, as established in the Paris Agreement (United Nations, 2015a)

Biodiversity, sustainable consumption and production (related to SDG 12)

Intensive and inadequate patterns of biodiversity use are one of the main factors that lead to the socioenvironmental crisis in which humanity currently finds itself. The responsibility for this situation does not rest solely on the shoulders of multinational corporations or large conglomerates. Production patterns based on extraction or transformation of natural resources (be they biological or mineral) have always been mostly unsustainable. However, given that the scale of exploitation based on extraction was relatively small until a few centuries ago, its levels of unsustainability did not pro-

duce a large impact on the resilience of ecosystems or on the recovery of natural landscapes. It was only when this scale expanded greatly that such impacts began to show themselves and to threaten the survival of our own species.

In the same way that small and large agents of extraction and transformation of natural resources contribute to the unsustainability of our pattern of use, consumers also share responsibility, since consumption far beyond the needs of survival fuels a cycle that leads to the exhaustion of available resources. Thus, it is no surprise that one of the main SDGs (SDG 12 - Responsible Consumption and Production) addresses the urgent need for measures that are capable of adjusting production and consumption patterns to sustainable levels within a short, and perhaps overly ambitious, timeframe.

Until the beginning of the next decade (2030), humanity must achieve a sustainable management and efficient use of natural resources (Goal 12.2). At the same time, it must reduce food waste, along its production and supply chains (Goal 12.3), cutting waste production and implementing reduction, recycling and reuse initiatives (RRR) (Goal 12.5). It is necessary for both public (Goal 12.7) and private sectors, especially large companies (Goal 12.6), to commit to such initiatives. There are doubts about our ability to achieve these goals by the year 2020, just as we have not tried to implement efficient ways to manage chemicals and waste that impact the environment (Target 12.4). At least in theory, all countries should develop and implement national plans for sustainable production and consumption, adjusting their development strategies (Goal 12.1) and widely informing their citizens regarding these issues (Goal 12.8).

Evidently, the challenges to achieve all of these goals are enormous, even if they are intrinsically connected with the goals of other SDGs already considered. In most countries, including Brazil, there are no efficient mechanisms of socio-environmental governance through which it is feasible to promote a strong behavioral change that implies not only the modification of production and consumption patterns, but also the modification of wealth accumulation patterns and the benefits that result from them. Social, political and economic resistance is immense. However, impor-

⁸ “Goal 12.8 - By 2030, ensure that people everywhere have the relevant information and awareness for sustainable development and lifestyles in harmony with nature.” (United Nations, 2015c, p. 23).

e são considerados materiais onipresentes, sendo detectados em todos os compartimentos ambientais e níveis de organização biológica (MacLeod et al., 2021). Recentemente, fibras de microplástico foram detectadas em tecidos de anfípodos (pequenos crustáceos sem carapaça) coletados na Fossa das Marianas, a mais de 10 mil metros de profundidade, num dos locais mais profundos dos oceanos (Jamieson et al., 2019).

O acúmulo de plásticos nos oceanos, como a ilha de lixo do Pacífico, tem promovido a colonização de comunidades microbianas específicas a esses resíduos. Essas comunidades são definidas como plastisfera (Zettler et al., 2013), constituindo novos habitats no ambiente marinho. Similarmente surpreendente são os fragmentos de microplásticos detectados na placenta humana, evidenciando, também, a transferência desses resíduos através das relações tróficas (Ragusa et al., 2021), assim como já demonstrado para metais pesados, como o mercúrio.

A poluição por substâncias químicas também é um problema global emergente associado ao saneamento básico. Apenas a base de dados da Sociedade Americana de Química (CAS Databases, 2022) apresenta mais de 260 milhões de registros (CAS number), compilados desde o primeiro período de industrialização. Desse total, cerca de 350.000 substâncias são comercializadas atualmente (Wang et al., 2020) e podem ser consideradas, portanto, potenciais contaminantes, visto que os sistemas de tratamento de esgoto e resíduos diferem em termos de eficiência, o que torna ainda mais complexo o problema da poluição. Uma vez no ambiente, essas substâncias químicas podem estar disponíveis a todos os níveis de organização do espectro biológico, produzindo efeitos tóxicos desde as formas de vida mais simples até as mais complexas, atingindo desde organismos até efeitos em comunidades, comprometendo, assim, a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas. Com isso, a poluição se torna um dos principais fatores de perda de biodiversidade, ao lado das

(...) é indiscutível a situação deficitária do Brasil em relação ao saneamento básico, impactando diretamente os usos da água para o consumo e produção de alimentos (combate à fome, consumo e produção responsável, ODS 2 e 7, respectivamente).

mudanças climáticas, supressão de habitats, sobrepesca e uso e ocupação do solo

Portanto, a garantia de um sistema de saneamento eficiente e abrangente, como preconizado no novo marco legal brasileiro, é essencial para irmos ao encontro das metas propostas pelos ODS para a conservação da biodiversidade.

Biodiversidade e a geração de energia acessível e limpa (relacionado ao ODS 7)

Energia acessível e limpa é um elemento central para a transição para uma economia de baixo carbono, contexto no qual a biodiversidade também tem um papel importante. Dentre esses papéis, destaca-se a geração de energia renovável e limpa, que encontra no oceano um manancial de possibilidades, como a energia eólica, de ondas e marés, de gradientes térmicos e de salinidade.

O Painel de Alto Nível para a Economia Sustentável do Oceano propõe uma resignificação da relação do oceano com a sociedade dentro do contexto das mudanças do clima, integrando três pilares: proteção efetiva da natureza, produção sustentável e prosperidade equitativa. Essa visão está associada às medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Por exemplo, estima-se que seja possível produzir 40 vezes mais energia renovável a partir do oce-

ano até 2050, com potencial de contribuir com 20% da redução de gases de efeito estufa na atmosfera, necessária para manter o aumento de temperatura do planeta dentro do limite de 1,5 °C, conforme estabelece o Acordo de Paris (United Nations, 2015a).

Biodiversidade, consumo e produção sustentáveis (relacionado ao ODS 12)

O intenso e inadequado padrão de uso da biodiversidade é um dos principais fatores que nos levaram a este cenário de crise socioambiental em que se encontra a humanidade neste momento. E a responsabilidade por este padrão não está repousada apenas nos ombros das empresas multinacionais e grandes conglomerados. Os padrões de produção a partir da extração ou da transformação de recursos naturais (sejam eles biológicos ou minerais) sempre foram majoritariamente insustentáveis. Todavia, como a escala de exploração a partir da extração era relativamente pequena até poucos séculos atrás, os seus níveis de insustentabilidade não chegaram a exercer um impacto muito sensível na capacidade de resiliência dos ecossistemas e de recuperação das paisagens naturais. Somente quando esta escala se expandiu bastante é que tais impactos começaram a se mostrar e, como vemos, a ameaçar a sobrevivência de nossa própria espécie.

Do mesmo modo que pequenos e grandes agentes de extração e de transformação dos recursos naturais contribuem para a insustentabilidade do nosso padrão de uso, os consumidores também partilham de tal responsabilidade, na medida em que o consumo para muito além das necessidades de sobrevivência alimentam um ciclo que leva à exaustão dos recursos disponíveis. Deste modo, não é surpresa que um dos principais ODS (o 12, Consumo e Produção Responsáveis) trate da necessidade urgente de medidas que sejam capazes de ajustar os padrões de produção e consumo a níveis sustentáveis num prazo exíguo, e talvez demasiadamente ambicioso.

Até o início da próxima década (2030), a humanidade precisa alcançar um modo sustentável de gestão e uso eficiente dos

tant experiences are becoming increasingly known all over the world, including in Brazil, where governance systems are more effective, as well as the capacity to control production patterns. These examples are present especially when modes of governance are decentralized, when production and consumption scales are not too big, and when the various linkages in value chains can be monitored and held accountable over time.

The systems of extraction and processing of biological resources that are under the responsibility of more participatory and decentralized modes of governance have demonstrated encouraging degrees of success. These modes of governance include producers, local communities, consumers, and other social actors and interest groups, which are always legitimized as agents capable of making decisions, establishing forms of control, and sharing benefits more equitably along the chains.

Examples of this more responsible and sustainable use of biodiversity have been consolidated in various parts of the country, whether with examples of community management of fishing resources in the Amazon; or the extraction of non-timber forest resources by traditional populations in the Northeastern Caatinga or Cerrado; or in the adoption and implementation of community-based tourism in all our Biomes. There are numerous successful examples. Nearly all of these are small or medium scale experiences, which, even so, had an important impact on the resilience of the ecosystems in which they are inserted. The implementation of sustainable consumption and production patterns is essential to guarantee the conservation of biodiversity and natural and urban environments. At the same time, it is also a key factor to help control the climate, in achieving food and energy security for the planet, and to guarantee healthier conditions for human populations.

Biodiversity and climate regulation (related to SDG 13)

As previously noted, it is important to have a clear understanding that oceans, atmosphere and continents interact in an intense and dynamic way. For instance, it is possible to highlight the gas and heat exchanges between the ocean and the atmosphere. The dissolution of carbon dioxide in the ocean reduces the greenhouse effect caused by its significant increase in the atmosphere due to human activity. The ocean's role in warming the atmosphere in equatorial regions, and forming

clouds, allows the regulation of rainfall on the planet, including the formation of extreme events such as hurricanes.

However, this relationship also involves climate change impacts on biodiversity. According to the summary of the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, the main effects of climate change include alterations to relative sea level, flooding, erosion of beaches, heat waves and changes in temperature, salinity, pH, and oxygen dissolved in sea water. These changes have varying consequences on biodiversity and on the benefits generated by nature for people, including socio-economic activities. As an example, sea level rise and flooding leads to losses of assets such as public and private properties, infrastructure (roads), and tourism spaces such as beaches. On the other hand, the erosion of beaches, associated with the narrowing of the coastline, will bring enormous losses to important economic and subsistence activities, such as tourism and fishing. The migration of fish species towards the poles weakens fishermen with low mobility. The compromise of coral reefs by the combined effect of seawater warming and pollution jeopardizes the recovery of fish stocks and tourism.

Understanding the natural phenomena and processes and improving the ability to predict the impacts of climate change in order to mitigate its socioeconomic effects is, therefore, strategic and urgent, as recommended by the latest report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2022) and by the National Plan for Adaptation to Climate Change.

Because of the relationship between biodiversity and climate, nature-based solutions have an important potential for implementing climate change mitigation and adaptation measures. One of these benefits is related to carbon capture and storage. Thus, an important climate change adaptation strategy is to ensure that the carbon stored in biodiversity is maintained or enhanced, which leads to the need to maintain the quality and functioning of vegetated environments. As such, the protection of forested areas and the restoration of degraded areas must be promoted (ex.: Goals 14.1, 14.2, 14.5, 15.1, 15.2, 15.3, 15.4 and 15.5). Similarly, the more effective establishment and management of protected areas should be sought, identifying and combatting threats to biodiversity that undermine the environment in the face of climate change. Healthy environments can accommodate the impacts

recursos naturais (Meta 12.2), mas também reduzir o desperdício de alimentos ao longo de suas cadeias de produção e abastecimento (Meta 12.3), reduzir a produção de resíduos e implementar ações de redução, reciclagem e reúso (RRR) (Meta 12.5). Tanto o setor público (Meta 12.7) quanto o privado, em especial as grandes empresas (Meta 12.6), precisam se comprometer neste sentido. Há dúvidas sobre a nossa capacidade de alcançar estas metas, do mesmo modo que não conseguimos implementar formas eficientes de manejar produtos químicos e resíduos que impactam o meio ambiente até o ano de 2020 (Meta 12.4). Ao menos em tese, todos os países deveriam desenvolver e implementar planos nacionais para produção e consumo sustentáveis, ajustando suas estratégias de desenvolvimento (Meta 12.1) e informando amplamente suas populações a respeito destas questões (Meta 12.8⁸).

Como se pode perceber, os desafios para alcançar todas estas metas são enormes, ainda que elas estejam tão intrinsecamente ligadas às metas de outros ODS já discutidos aqui. Na maior parte dos países, incluindo o Brasil, inexistem mecanismos eficientes de governança socioambiental através dos quais seja factível promover uma forte mudança comportamental que implique não apenas na modificação dos padrões de produção e consumo, como também nos padrões de acumulação de riquezas e benefícios que decorrem daqueles. As resistências sociais, políticas e econômicas são gigantescas. Todavia, são cada vez mais conhecidas experiências importantes em todo o mundo, inclusive no Brasil, nas quais os sistemas de governança são mais efetivos, bem como a capacidade de controle sobre os padrões de produção. Estas experiências se desenvolvem especialmente quando os modos de governança são descentralizados, quando a escala de produção

e consumo não são muito grandes e quando os diversos elos das cadeias de valor podem ser monitorados e responsabilizados ao longo do tempo.

Os sistemas de extração e beneficiamento de recursos biológicos que estão sob a responsabilidade de modos de governança mais participativos e descentralizados vêm demonstrando graus animadores de sucesso. Estes modos de governança incluem produtores, comunidades locais, consumidores e demais atores sociais e grupos de interesse, sempre legitimados como agentes capazes de tomar decisões, efetivar formas de controle e partilhar os benefícios de forma mais equânime ao longo das cadeias. Exemplos desta forma mais responsável e sustentável de uso da biodiversidade vem sendo consolidados em várias partes do país, seja com exemplos de manejo comunitário de recursos pesqueiros na Amazônia, seja na extração de recursos florestais não madeireiros por populações tradicionais na Caatinga nordestina ou no Cerrado, seja na adoção de implementação de turismo de base comunitária em todos os nossos Biomas. São inúmeros os exemplos bem-sucedidos. Quase todas estas são experiências de escala pequena ou média, mas que, ainda assim, foram capazes de exercer importante impacto na resiliência dos ecossistemas em que estão inseridas.

Se, por um lado, a implementação de padrões de produção e consumo sustentáveis é essencial para garantir a conservação da biodiversidade e dos ambientes naturais e urbanos, por outro lado é um dos fatores-chave para ajudar no controle climático, no alcance da segurança alimentar e energética do planeta, e na garantia de condições mais saudáveis para as populações humanas.

Biodiversidade e a regulação do clima (relacionado ao ODS 13)

Como já comentado anteriormente, é fundamental que tenhamos uma clara compreensão de que oceano, atmosfera e continentes interagem de forma intensa e dinâmica. Como exemplo, é possível apontar as trocas de calor e gases entre oceano e atmosfera.

⁸ “Meta 12.8 – Até 2030, garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza” (United Nations, 2015c, p. 23).

A dissolução do gás carbônico no oceano reduz o efeito estufa causado pelo seu aumento significativo na atmosfera em função das atividades humanas. O papel do oceano em aquecer a atmosfera nas regiões equatoriais, e formar nuvens, permite a regulação das chuvas no planeta, incluindo a formação de eventos extremos como furacões.

Mas essa relação também envolve os impactos causados pelas mudanças climáticas na biodiversidade. Segundo o Sumário do Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, os principais efeitos das mudanças climáticas compreendem a alteração do nível relativo do mar, inundações, erosão das praias, ondas de calor e alterações na temperatura, salinidade, pH e oxigênio dissolvido na água do mar. Essas alterações possuem consequências variadas sobre a biodiversidade e sobre os benefícios gerados pela natureza para as pessoas, incluindo as atividades socioeconômicas.

Como exemplo, o aumento do nível do mar e as inundações geram perdas de ativos, como propriedades públicas e privadas, infraestrutura (estradas) e espaços para turismo, como as praias. Por outro lado, a erosão de praias, associada ao estreitamento da linha de costa, trará enormes prejuízos para importantes atividades econômicas e de subsistência, como o turismo e a pesca. Já a migração de estoques de pescado em direção aos polos fragiliza pescadores de baixa mobilidade. O comprometimento dos recifes de coral pelo efeito conjunto do aquecimento da água do mar e da poluição compromete a recuperação de estoques pesqueiros e o turismo.

Compreender os fenômenos e os processos naturais e aprimorar a capacidade de previsão dos impactos das mudanças climáticas de forma a atenuar seus efeitos socioeconômicos é, portanto, estratégico e urgente, como preconizado pelo último relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022) e pelo Plano Nacional de Adaptação às Mudanças do Clima.

Em função da relação entre a biodiversidade e o clima, soluções baseadas na natureza têm um importante potencial para implementação de medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Um desses benefícios diz respeito ao sequestro e estocagem de carbono. Assim, uma importante estratégia de adaptação às mudanças do clima é garantir que o carbono estocado na biodiversidade seja mantido ou ampliado, o que leva à necessidade da manutenção da qualidade e do funcionamento de ambientes vegetados. Portanto, deve-se promover a proteção de áreas florestais e a recuperação de áreas degradadas (ex. Metas 14.1, 14.2, 14.5, 15.1, 15.2, 15.3, 15.4 e 15.5). De forma semelhante, uma melhor efetividade na criação e gestão de Áreas Protegidas deve ser buscada, identificando e combatendo as ameaças à biodiversidade que fragilizam o ambiente frente às mudanças climáticas. Ambientes saudáveis podem acomodar os impactos das alterações no clima, em especial eventos climáticos extremos. Assim, melhorar a saúde ambiental (ou reduzir suas comorbidades) é uma importante estratégia de adaptação que pode promover múltiplos benefícios ambientais, sociais e econômicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Está cada vez mais evidente a interdependência entre o bem-estar e a saúde humana e a qualidade do ambiente em que vivemos, sendo esse o foco de novas linhas de pesquisa, como a da “saúde planetária” e da “saúde única”. Nesse âmbito, um ambiente mais saudável e biodiverso tem maior potencial de prover serviços ecossistêmicos que beneficiem as pessoas, sejam estes bens materiais (como madeira, água, frutos, fibras, etc.), serviços de regulação (como os climáticos, hídricos, de polinização ou controle de pragas, entre outros), ou culturais/recreacionais. Viver em “equilíbrio com a natureza” significa respeitar os outros seres vivos e conviver de forma harmônica e sinérgica com as outras espécies e nosso planeta.

of climate change, especially extreme climate events. Therefore, improving environmental health (or reducing its comorbidities) is an important adaptation strategy that can lead to multiple social, economic, and environmental benefits.

FINAL CONSIDERATIONS

The interdependence between human well-being and health and the quality of the environment we live in is increasingly clear. Therefore, this is the focus of new lines of research including “planetary health” and “one health”. In this context, a healthier, more biodiverse environment has a greater potential to provide ecosystem services that benefit people, whether through material resources (such as wood, water, fruit, fiber, etc.), regulation services (such as climate, water, pollination or pest control, among others), or cultural/recreational. Living in “harmony with nature” means respecting other living beings and harmoniously and synergistically co-existing with other species on our planet.

Given that biodiversity underpins a wide range of ecosystem services that benefit us, biodiversity should be understood as an asset for sustainable development and for our well-being, and not just something to be conserved and separated from (or from the interferences of) human society.

“Win-win” situations, in which both the environment and people are benefited, should be the rule, not the exception. More biodiverse agricultural landscapes are more resilient to pests, and more productive and less expensive to maintain. Coastal regions that maintain their interface ecosystems (such as Mangroves and Restingas) are more protected from the effects of floodings and support more diverse and abundant fish populations, thereby benefiting fishing activities. Cities with ample green and blue infrastructure are more resilient to climate change and benefit the health of their populations in many ways. Clearly, biodiversity is part of the solutions for sustainable development, and not just an end in itself.

The inclusion of biodiversity in public policies focused on socioenvironmental resilience and sustainability should be a priority. To this end, it is necessary to consider cross-cutting policies, beyond the “environmental”, to adequately deal with the “socio environmental” dimension. This does not mean no longer conserving biodiversity for its intrinsic value, creating and maintaining protected areas (for ex-

ample), but that we must expand our horizons of action, looking in greater detail at interactions between biodiversity and different dimensions of sustainability: climate, water, food, energy, or health.

These cross-cutting public policies mean that biodiversity should not only be the object of interest of environmental agencies, but something that must be inserted in agriculture, fishing, health, climate, and water policies, as well as in urban planning directives, agroecological zoning, and coastal planning, among others. These transversal and inclusive policies need to be thought out by interdisciplinary teams, including different ministries or secretaries, in participatory processes that promote the engagement of the population most directly affected, or potentially benefited.

In practice, the process is complex, because it involves multiple, frequently conflicting interests. This requires political decisions that theoretically should seek consensus and the general well-being of the population. The relevant point, however, is that there are many synergies to be exploited, given that actions promoting greater biodiversity also increase climate resilience, enhance water security, make our landscapes productive and our cities more sustainable. These actions are based predominately on good land planning, which means maintaining a minimum of native vegetation coverage (~30%) in productive areas and preserving the more sensitive areas (for instance, steeper slopes, riverbank areas, ecotones). Use should only be intensified in favorable areas, balancing demand or exploitation according to the supply capacity of landscapes.

In this context, Brazil has a privileged role on the global stage, since it still maintains nearly two thirds of its native vegetation, contains extensive biodiversity, has great potential for clean energy generation (solar, wind or based on biomass), has ample water resources and a favorable climate for productive and diversified agriculture. Thus, there are many possibilities to conserve biodiversity and take advantage of this important asset to promote sustainability in its multiple dimensions. This allows us to move towards a transformed economy, generating wealth in harmony with native vegetation and its biodiversity, rather than to its detriment.

Considerando que a biodiversidade potencializa uma ampla gama de serviços ecossistêmicos que nos beneficia, a biodiversidade deveria ser entendida como um ativo para o desenvolvimento sustentável e para o nosso bem-estar, e não apenas algo a ser conservado e apartado do convívio (ou das interferências) da sociedade.

Situações de “ganha-ganha”, em que tanto a ambiente quanto as pessoas são beneficiadas, deveriam ser a regra, e não a exceção: paisagens agrícolas mais biodiversas são mais resilientes a pragas, mais produtivas e menos custosas de serem mantidas; regiões costeiras que mantêm seus ecossistemas de interface (como os manguezais e as restingas) estão mais protegidos dos efeitos das ressacas e sustentam populações de peixes mais diversas e abundantes, beneficiando a atividade pesqueira; cidades com ampla infraestrutura verde e azul são mais resilientes às mudanças climáticas e beneficiam de diversas formas a saúde de suas populações. Nitidamente, a biodiversidade é parte das soluções para o desenvolvimento sustentável, e não apenas um fim por si só.

A inserção da biodiversidade em políticas públicas voltadas para a sustentabilidade e resiliência socioambiental deveria ser uma prioridade. Para tanto, é necessário pensar em políticas transversais, para além do “ambiental”, para de fato lidar com o “socioambiental”. Isso não significa deixar de conservar a biodiversidade por seu valor intrínseco, criando e mantendo unidades de conservação (por exemplo), mas, sim, expandir os horizontes de ação, olhando com mais detalhes as interações da biodiversidade com as diferentes dimensões da sustentabilidade: climática, hídrica, alimentar, energética ou de saúde.

Essas políticas públicas transversais significam que a biodiversidade não deveria ser apenas objeto de interesse dos órgãos ambientais, mas sim algo que deve estar inserido nas políticas de agricultura, pesca, saúde, clima, água, assim como nos pla-

nos diretores urbanos, nos zoneamentos agroecológicos, no planejamento costeiro, entre outros. Essas políticas transversais e inclusivas precisam ser pensadas por equipes interdisciplinares, abrangendo diferentes ministérios ou secretarias, em processos participativos, que promovam o engajamento da população mais diretamente afetada, ou potencialmente beneficiada.

Na prática, o processo é complexo, pois envolve múltiplos interesses, muitas vezes conflituosos. Isso requer decisões políticas que, teoricamente, deveriam buscar o consenso e o bem-estar geral da população. O relevante, no entanto, é que existem muitas sinergias a serem exploradas, dado que ações que promovem maior biodiversidade são também as mesmas que aumentam nossa resiliência climática, ampliam nossa segurança hídrica, tornam nossas paisagens produtivas e nossas cidades mais sustentáveis. Essas ações estão baseadas, em grande parte, num bom planejamento territorial, o que significa manter uma cobertura mínima de vegetação nativa (~30%) em áreas produtivas, preservar as áreas mais sensíveis (por exemplo, encostas mais íngremes, áreas ribeirinhas, ecótonos), intensificar o uso apenas em áreas propícias e equilibrar a demanda, ou o uso, à capacidade de oferta das paisagens.

Neste contexto, o Brasil tem um papel privilegiado no cenário mundial, pois ainda preserva praticamente dois terços de sua vegetação nativa, contém uma altíssima biodiversidade, tem grande potencial de geração de energia limpa (solar, eólica ou baseada em biomassa), amplos recursos hídricos e clima propício para uma agricultura produtiva e diversificada. Há, assim, muitas possibilidades de manter a biodiversidade e de se aproveitar desse importante ativo para promover a sustentabilidade nas suas múltiplas dimensões, além de caminhar para uma nova economia, gerando riquezas a partir da vegetação nativa e de sua biodiversidade, e não em detrimento dela.

REFERÊNCIAS/REFERENCES

Biodiversity Information Standards. (2022). *Darwin Core*. <https://dwc.tdwg.org/>.

Brasil. (2007, 05 de janeiro). Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

Brasil. (2020, 15 de julho). Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

Canhos, D. A. L., Sousa-Baena, M. S., de Souza, S., Maia, L. C., Stehmann, J. R., Canhos, V. P., De Giovanni, R., Bonacelli, M. B. M., Los, W., & Townsend Peterson, A. (2015). The importance of biodiversity E-infrastructures for megadiverse countries. *PLoS Biology*, 13(7), e1002204. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pbio.1002204>.

CAS Databases. (2022). <https://www.cas.org/support/documentation/cas-databases>.

Convention on Biological Diversity. (2022). *Post-2020 Global Biodiversity Framework*. <https://www.cbd.int/article/draft-1-global-biodiversity-framework>.

Fernandes, E. S., Passos, G. F., Medeiros, R., Cunha, F. M., Ferreira, J., Campos, M. M., Pianowski, L. F., & Calixto, J. B. (2007). Anti-inflammatory effects of compounds alpha-humulene and (–)-trans-caryophyllene isolated from the essential oil of *Cordia verbenacea*. *European Journal of Pharmacology*, 569, 228-236.

Global Biodiversity Information Facility. (2022). <https://www.gbif.org>.

Intergovernmental Panel on Climate Change–IPCC. (2022). *IPCC Sixth Assessment Report (AR6)*. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2017). PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=destaques>.

Jamieson, A. J., Brooks, L. S. R., Reid, W. D. K., Piertney, S. B., Narayanaswamy, B. E., & Linley, T. D. (2019). Microplastics and synthetic particles ingested by deep-sea amphipods in six of the deepest marine ecosystems on Earth. *Royal Society Open Science*, 6, 180667. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.180667>.

Joly, C. A., Haddad, C. F. B., Verdade, L. M., Oliveira, M. C., & Bolzani, V. S. (2009). Science plan & strategies for the next decade. BIOTA/FAPESP. <https://www.biota.org.br/wp-content/uploads/2021/08/BIOTA-10-DRAFT-Science-Plan-.pdf>.

Joly, C. A., Scarano, F. R., Bustamante, M., Gadda, T. M. C., Metzger, J. P., Seixas, C. S., Ometto, J. P. H. B., Pires, A. P. F., Boesing, A. L., Sousa, F. D. R., Quintão, J. M. B., Gonçalves, L. R., Padgurschi, M. P. C., Aquino, M. F. S., Castro, P. F. D., & Santos, I. L. (2019). Brazilian assessment on biodiversity and ecosystem services: Summary for policy makers. *Biota Neotropica*, 19, e20190865. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2019-0865>.

Lewinsohn, T. (2020). A biodiversidade explicada em 8 pontos. NEXO Políticas Públicas. <https://pp.nexojornal.com.br/perguntas-que-a-ciencia-ja-respondeu/2020/A-biodiversidade-explicada-em-8-pontos>.

MacLeod, M., Arp, H. P. H., Tekman, M. B., & Jahnke, A. (2021). The global threat from plastic pollution. *Science*, 373, 61-65.

Magalhães, L. A. M., Lima, M. P., Marinho, H. A., & Ferreira, A. G. (2007). Identificação de bergenina e carotenóides no fruto de uchi (*Endopleura uchi*, Humiriaceae). *Acta Amazonica*, 37(3), 447-450.

MapBiomass. (2022). <https://mapbiomas.org>.

Marchart, E., Krenn, L., & Kopp, B. (2003). Quantification of the flavonoid glycosides in *Passiflora incarnata* by capillary electrophoresis. *Planta Medica*, 69(5), 452-456.

Marques, M. C. M., & Grelle, C. E. V. (2021). *The Atlantic Forest*. Springer International Publishing.

Minatel, D. G., Pereira, A. M. S., Chiaratti, T. M., Pasqualin, L., Oliveira, J. C. N., Couto, L. B., Lia, R. C. C., Cintra, J. M., Bezson, M. F. A., & Franca, S. C. (2010). Clinical study for the validation of the efficacy of ointment containing barbatimão (*Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville) on healing of decubitus ulcers. *Revista Brasileira de Medicina*, 67, 250-256.

Mora, C., Tittensor, D. P., Adl, S., Simpson, A. G. B., & Worm, B. (2011). How many species are there on

earth and in the ocean? *PLoS Biology*, 9, e1001127. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pbio.1001127>.

Newman, D. J., & Cragg, G. M. (2020). Natural Products as Sources of New Drugs over the Nearly Four Decades from 01/1981 to 09/2019. *Journal of Natural Products*, 83(3), 770-803.

Nugroho, L. H., & Verpoorte, R. (2004). Secondary metabolism in tobacco. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 68, 105-125.

Obrecht, A, Pham-Truffert, M, Spehn, E., Payne, D., Bremond, A., Altermatt, F., Fischer, M., Passarello, C., Moersberger, H., Schelske, O., Guntern, J., Prescott, G. W., & Geschke, J. (2021). Achieving the SDGs with biodiversity (Vol. 16, No. 1, 12 p.). Switzerland: Swiss Academies Factsheet.

Piccirillo, E., & Amaral, A. T. A. (2018). Busca virtual de compostos bioativos: Conceitos e aplicações. *Química Nova*, 41(6). <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170210>.

Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos. (2019). Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil. https://www.bpb.es.net.br/wp-content/uploads/2019/03/BPBES_CompletoPolinizacao-2.pdf.

Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos. (2022). <https://www.bpb.es.net.br/>.

Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade – BIOTA/FAPESP. (2022a). <https://www.biota.org.br>.

Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade – BIOTA/FAPESP. (2022b). <https://revistapesquisa.fapesp.br/politicas-para-a-natureza/>.

Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade – BIOTA-FAPESP. (2022c). Plano estratégico de ação do programa BIOTA/FAPESP. FAPESP.

Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Rongioletti, M. C. A., Baiocco, F., Draghi, S., D’Amore, E., Rinaldo, D., Matta, M., & Giorgini, E. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, 146, 106274. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>.

Stockholm Resilience Centre. (2014). *Sustainable development goals: The SDGs wedding cake*. <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-how-food-connects-all-the-sdgs.html>.

United Nations. (2015a). The Paris Agreement. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>.

United Nations. (2015b). *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development*. A/RES/70/1. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>.

United Nations. (2015c). *Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015*. <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/89/pdf/N1529189.pdf?OpenElement>.

Valli, M., & Bolzani, V. S. (2019). Natural products: perspectives and challenges for use of Brazilian

plant species in the bioeconomy. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91(Suppl. 3), e20190208.

Valsecchi, J., Marmontel, M., Franco, C. L. B., Cavalcante, D. P., Cobra, I. V. D., Lima, I. J., Lanna, J. M., Ferreira, M. T. M., Nassar, P. M., Botero-Arias, R., & Monteiro, V. (2017). *Atualização e composição da lista – Novas Espécies de Vertebrados e Plantas na Amazônia 2014-2015*. Ed. Iniciativa Amazônia Viva da Rede/WWF/IDSM.

Wang, Z., Walker, G. W., Muir, D. C. G., & Nagatani-Yoshida, K. (2020). Toward a global understanding

of chemical pollution: A first comprehensive analysis of national and regional chemical inventories. *Environmental Science & Technology*, 54(5), 2575-2584.

World Health Organization. (2020). <https://www.who.int/initiatives/who-global-centre-for-traditional-medicine>.

Zettler, E. R., Mincer, T. J., & Amaral-Zettler, L. A. (2013). Life in the “Plastisphere”: Microbial communities on plastic marine debris. *Environmental Science & Technology*, 47(13), 7137-7146.