

REVISTA DA SOCIEDADE BRASILEIRA PRA O PROGRESSO DA CIÊNCIA  
VOLUME 75 - NO.04 - OUTUBRO | NOVEMBRO | DEZEMBRO

# Ciência & Cultura



# BIOMAS DO BRASIL



Foto de capa: Foto de [Charles J. Sharp](#) de [Sharp Photography](#)

Todos os textos publicados na revista Ciência & Cultura estão licenciados sob a [Licença Creative Commons Atribuição 2.0 \(CC BY-NC-ND 2.0 BR\)](#).

Copyright © 2022 SBPC | Todos os direitos reservados

# Ciência&Cultura

[revistacienciaecultura.org.br](http://revistacienciaecultura.org.br)

A revista Ciência&Cultura é uma publicação de divulgação científica da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC)

## DIRETORIA SBPC

### Presidente

Renato Janine Ribeiro

### Vice-presidentes

Francilene Procópio Garcia  
Paulo Eduardo Artaxo Netto

### Secretária-geral

Claudia Linhares Sales

### Secretárias

Marilene Corrêa da Silva Freitas  
Fernanda Antônia da Fonseca Sobral  
Laila S. Espindola

### Tesoureiras

Marimélia Porcionatto  
Ana Tereza Ribeiro de Vasconcelos

## EQUIPE C&C

### Conselho Editorial

Alexey Dodsworth Magnavita de Carvalho  
André Ramos  
Carlos Medicis Morel  
Elza Maria Ajzenberg  
Ennio Candotti  
Federico Mayor Zaragoza  
Helena Bonciani Nader  
Ima Célia Guimarães Vieira  
João José Reis  
Julia Tagüeña  
Leonardo Avritzer  
Lília Katri Moritz Schwarcz  
Luzia Matos Mota  
Luiz Botelho de Albuquerque  
Luiz Nassif

Marco Américo Lucchesi  
Marcus Cueto Caballero  
Maria de Lourdes Alves Borges  
Marilene Correa da Silva Freitas  
Mariluce de Souza Moura  
Miriam Pillar Grossi  
Paulo Eduardo Artaxo Netto  
Sarah Azoubel  
Sidarta Tollendal Gomes Ribeiro

### Conselho científico-executivo

André Ramos  
Fernanda Antonia da Fonseca Sobral  
Lígia Bahia  
Marcelo Knobel  
Marie Anne Van Sluys  
Paulo Artaxo  
Renato Janine Ribeiro  
Rosângela Janja Costa Araújo

### Editor científico

Laila S. Espindola e Paulo Artaxo

### Editora-executiva

Chris Bueno

### Web design

Noctis

### Edição de vídeos

Olho Mágico

### Edição de podcast

Next

### Revisão e indexação

GN1

O conteúdo e as opiniões expressas nos artigos assinados são de responsabilidade exclusiva de seus autores.

A revista Ciência&Cultura é uma publicação com fins educativos e de divulgação científica e cultural, e sem fins lucrativos.



# Biomias do Brasil

## EDITORIAL

1. Biomias brasileiros ..... 03  
Laila S. Espindola e Paulo Artaxo

## ARTIGOS

1. Desafios para o enfrentamento da crise ambiental da Amazônia ..... 07  
Ima Célia Guimarães Vieira

2. Bioma Pantanal ..... 17  
Denise Brentan da Silva, Letícia Couto Garcia, Sandra Aparecida Santos, Geraldo Alves Damasceno Junior, Amanda Galdi Boaretto e Ieda Maria Bortolotto

3. A Caatinga ..... 27  
Janieli de Oliveira Melo, Renato Dantas-Medeiros, Letícia Gondim Lambert Moreira, Raquel Brandt Giordani e Silvana Zucolotto Langassner

4. O cerne do Pampa ..... 38  
Fabiane Moreira Farias, Carlos Augusto Riella de Melo, Débora Débora da Cruz Payão Pellegrini, Heinrich Hasenack e Maurício de Freitas Scherer

5. Biomias brasileiros e as mudanças climáticas ..... 47  
Paulo Artaxo

6. Desertificação no Brasil ..... 57  
Suzana Gico Montenegro

7. Microbiomas de formigas fungicultoras em diferentes biomias brasileiros ..... 65  
Carlismari O. Grundmann, Ivan L. F. Migliorini, Weilan G. P. Melo e Mônica Pupo

8. As abelhas "sem-ferrão" dos biomias brasileiros ..... 75  
David Silva Nogueira, Ayrton Vollet Neto, Mariana Pupo Cassinelli, José Augusto dos Santos-Silva, Fabio Santos do Nascimento e Ana Lúcia Leandrini de Oliveira

9. O futuro distópico já chegou para a herpetofauna amazônica... e agora? ..... 82  
Fernanda Werneck, Jordana G. Ferreira e Felipe Zanusso

10. Fungos ocultos dos biomias brasileiros ..... 97  
Patrícia Cardoso Cortelo, Jefferson Brendon Almeida dos Reis, Denise Oliveira Guimarães, Fernanda Oliveira das Chagas, Guilherme Afonso Kessler de Andrade, Jadson Bezerra e Thiago de Roure Bandeira de Mello

## OPINIÃO

1. Como a arte construiu o Brasil ..... 107  
Laila S. Espindola

## REPORTAGENS

1. Povos tradicionais e os biomias brasileiros ..... 116  
Leonor Assad

2. Fauna brasileira: surpreendente, superlativa, em risco! ..... 123  
Patrícia Mauriuzzo

3. Farmácia natural brasileira: biomias como berços para a criação de medicamentos ..... 130  
Bianca Bosso

4. Crise hídrica: a resiliência dos biomias brasileiros diante das mudanças climáticas ..... 135  
Priscylla Rosa e João Nogueira

5. O consumo de combustíveis fósseis e o alarmante efeito nos biomias brasileiros ..... 140  
Priscylla Rosa

6. A tecnologia a serviço dos biomias ..... 145  
Paula Gomes



**Capa. Conhecer os biomas é fundamental para sua preservação.**

(Foto: [Fábio de Paina Nunes](#). Reprodução)

## Biomas brasileiros

*Edição da Ciência & Cultura explora riqueza dos ecossistemas do país*

Laila S. Espíndola e Paulo Artaxo

**Ciência & Cultura** - a revista de divulgação científica da **Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC)** - em ritmo de comemoração de seus quase 75 anos, neste número "Biomas Brasileiros" convida a todos a viajarem pelas belezas da Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pampa e Pantanal. Vamos conhecer esses ricos ecossistemas e seus povos tradicionais, de "cuja herança ancestral, forjada pelo local em que vivem, provém a riqueza cultural de cada um dos biomas".

O Brasil ostenta uma

riqueza incomparável quando se trata da diversidade e importância de seus biomas. O Cerrado, Pantanal, Pampa, Caatinga, Mata Atlântica e Amazônia são diversos e repletos em termos de serviços ecossistêmicos e biodiversidade. Cada um possui suas características únicas, clima distinto, interação com espécies animais e conexões específicas com ecossistemas vizinhos.

O Cerrado é o berço de várias bacias hidrográficas importantes. Localiza-se em três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Tocantins-Araguaia, São Francisco e Prata). É considerado o segundo maior bioma brasileiro em extensão, e com uma das mais ricas biodiversidades do mundo. Apesar desta biodiversidade, esse bioma vem sofrendo muito com o desmatamento, principalmente ocasionados pela agricultura. Hoje, o bioma conserva apenas 20% de sua área total, passando por um grande processo de descaracterização, ou seja, ocupado por grandes pastagens de gado e extensas plantações de soja, algodão, cana, eucalipto. Além disso, a urbanização desenfreada já

**Figura 1. Cerrado**

(Foto: [Luciano Thomazelli](#). Reprodução)

**Figura 2. Pantanal**

(Foto: [Filipefrazao](#). Reprodução)

consumiu grandes porções do Cerrado. O desmatamento, caça ilegal, tráfico de espécies e incêndios florestais ameaçam o habitat de muitas espécies, empurrando-as em direção à extinção. (Figura 1)

O Pantanal, a maior planície de inundação do mundo, abrange 250.000 quilômetros quadrados com uma altitude média de 100 metros. Reconhecida pela **Unesco** como “Patrimônio Natural Mundial” e “Reserva da Biosfera”, essa região abriga uma biodiversidade excepcional. O ecossistema se estende pelo Brasil, Bolívia e Paraguai e fica inundado em até 80% de sua área durante a estação chuvosa. A vegetação do Pantanal varia significativamente, influenciada pelo solo e pela altitude. As principais atividades econômicas incluem a criação de gado bovino e o turismo, enquanto a região também abriga populações indígenas e tradicionais que possuem conhecimento ancestral sobre a biodiversidade local. (Figura 2)

O Pampa compreende vastas planícies e colinas cobertas por campos, estendendo-se por uma parte significativa da região sul da América do Sul, abrangendo metade do estado do Rio Grande do Sul, Uruguai e várias províncias argentinas. O bioma possui um clima subtropical com notáveis variações sazonais e apresenta áreas importantes de monocultura de arroz e soja, além de extensas pastagens. (Figura 3)

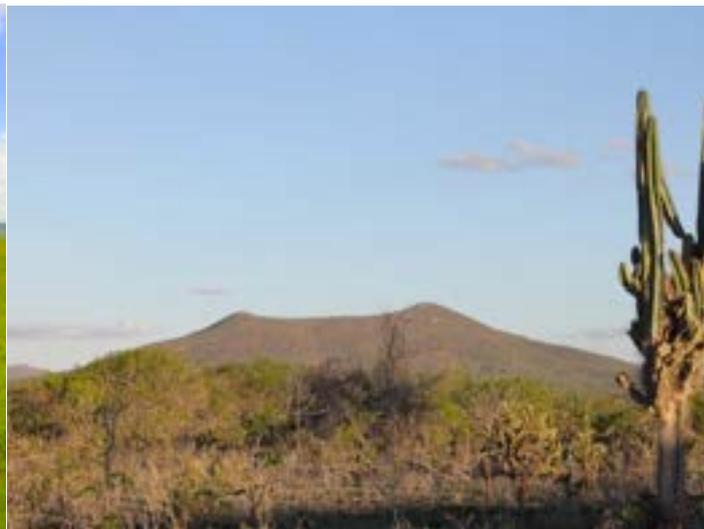
O encantador bioma da Caatinga está localizado no Nordeste do Brasil, cobrindo mais de 900.000 quilômetros quadrados e incluindo diversos tipos de vegetação

organizados em nove ecorregiões distintas. Estende-se por federativos, bem como o norte de Minas Gerais. Apesar de sua notável biodiversidade, a Caatinga continua a ser uma das regiões biogeográficas menos estudadas entre os biomas brasileiros. A vegetação característica da Caatinga pertence a um bioma global conhecido como Florestas e Arbustais Tropicais Sazonalmente Secos. A palavra “Caatinga” tem origem tupi-guarani e significa “mata branca”, fazendo referência ao aspecto esbranquiçado dos

*“O Brasil ostenta uma riqueza incomparável quando se trata da diversidade e importância de seus biomas.”*

**Figura 3. Pampa**

(Foto: Fernando Barcellos. Reprodução)

**Figura 4. Caatinga**

(Foto: [CesarCoelho667](#). Reprodução)

troncos de árvores devido ao clima seco. (Figura 4)

A Mata Atlântica é talvez o ecossistema brasileiro mais devastado, originalmente abrangendo 1,3 milhão de quilômetros quadrados, mas ocupando atualmente apenas 0,2 milhão de quilômetros quadrados. Nos 16% restantes de sua área original, existem apenas pequenos fragmentos de florestas secundárias. A Mata Atlântica se estende ao longo de toda a costa brasileira, do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul, avançando para o interior nas regiões sul e sudeste, bem como em

*“Compreender  
nossos biomas é  
fundamental para sua  
preservação.”*

partes de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Paraguai e Argentina. Abriga populações indígenas em diversos fragmentos. (Figura 5)

A Amazônia é indiscutivelmente o bioma brasileiro mais discutido devido às altas taxas recentes de desmatamento. Ela engloba 60% do território brasileiro e se estende por nove países da América do Sul, cobrindo 5,5 milhões de quilômetros quadrados de florestas tropicais. A Amazônia representa mais da metade das florestas tropicais remanescentes no planeta e ostenta a maior biodiversidade de qualquer floresta tropical no mundo. Seu clima quente e úmido possui regiões com precipitação extremamente alta. A Amazônia é habitada há pelo menos 11.000 anos, com teorias que sugerem uma extensa influência humana ao longo de sua longa história. A floresta detém o maior estoque de carbono do planeta, com cerca de 120 bilhões de toneladas, tornando a Amazônia uma região estratégica para o nosso planeta. Ela libera grandes quantidades de vapor de água, regulando o ciclo hidrológico em vastas áreas. Estratégias futuras para a utilização responsável de sua biodiversidade estão em intensa discussão, com o desafio de garantir que esses benefícios sirvam às populações originárias. (Figura 6)

**Figura 5. Mata Atlântica**

(Foto: [João P. Burini](#). Reprodução)

**Figura 6. Amazônia**

(Foto: Neil Palmer/[CIAT](#) - [Flickr](#). Reprodução)

---

Convidamos nossos leitores a explorar as histórias e discussões de cada um dos biomas brasileiros nesta edição da Ciência & Cultura. Compreender nossos biomas é fundamental para sua preservação. Ciência, conservação e cultura andam juntas neste passeio por nossos biomas.

**Laila Salmen Espindola** é professora da Faculdade de Ciências da Saúde e coordenadora do Laboratório de Farmacognosia da Universidade de Brasília (UnB). Também coordena o grupo de pesquisa CNPq - Biofármacos, desde 2002, com Acesso legal ao Patrimônio Genético e é conselheira da SBPC.

**Paulo Artaxo** é professor do Departamento de Física Aplicada do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP). É membro titular da Academia Mundial de Ciências (TWAS), do INCT Mudanças Climáticas, do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) e vice-presidente da SBPC. É coordenador do Programa FAPESP de Mudanças Climáticas Globais.



Capa. É preciso pensar em estratégias para preservação da Amazônia e de seus povos.

(Foto: Embrapa. Divulgação)

# Desafios para o enfrentamento da crise ambiental da Amazônia

*Região é peça-chave no equilíbrio climático global e na conservação de parte relevante da biodiversidade mundial.*

Ima Célia Guimarães Vieira

## Resumo

A Amazônia é uma região estratégica para o país e o mundo, e o centro da agenda ambiental brasileira. O presente artigo contextualiza a importância dessa agenda e apresenta ações-chave para a região. Isso inclui o reforço na fiscalização e monitoramento para alcançar o desmatamento e a degradação florestal zero, o combate à economia da grilagem, a expansão do sistema de áreas protegidas para conservar a biodiversidade, o estímulo à regeneração natural como abordagem prioritária de restauração de áreas degradadas, o investimento numa economia florestal sustentável e o reconhecimento do conhecimento tradicional das comunidades locais. Essas estratégias devem considerar não apenas as questões práticas e políticas, mas também os direitos e a participação das comunidades locais no processo. Entende-se que a agenda ambiental da Amazônia passa necessariamente por uma integração e mobilização de esforços e governança de suas estratégias e instrumentos para a superação dos problemas históricos da região.

**Palavras-chave:** Mudança climática; Degradação florestal; Biodiversidade da Amazônia; Sociobioeconomia; Desmatamento zero; Restauração florestal

## Introdução

A ciência tem deixado cada vez mais evidente a importância da agenda ambiental para o desenvolvimento do país, particularmente diante da crise climática, da perda de biodiversidade e da necessidade da adoção de práticas econômicas mais sustentáveis. No centro dessa agenda está a Amazônia, que embora negligenciada historicamente, ganhou um novo e crucial significado como peça-chave no equilíbrio climático global e na conservação de parte relevante da biodiversidade mundial.

A trajetória de ocupação da região é marcada por um modelo de desenvolvimento que privilegia a expansão rápida de infraestrutura e os interesses do agronegócio, gerando um rastro de desmatamento, conflitos fundiários e tensões com populações tradicionais.<sup>[1, 2]</sup> Ao introduzir instrumentos inovadores de controle do desmatamento na Amazônia, o Brasil conseguiu diminuir o corte de florestas em 87% de 2004 a 2012 e, por isso, assumiu, no âmbito do Acordo de Paris, metas audaciosas para a região: o desmatamento ilegal zero, a compensação das emissões de gases de efeito de estufa provenientes dos usos da terra e a restauração de 12 milhões de hectares de florestas, até 2030. (Figura 1)

Ocorre que a diversidade de projetos geopolíticos formulados para a Amazônia obscurece qualquer esforço unificado para mitigar as crises ambientais e atender a esses compromissos. Tal complexidade tem impulsionado debates cruciais sobre o futuro sustentável da região amazônica, associado ao desmatamento zero <sup>[1]</sup> <sup>[3]</sup> e a uma abordagem de bioeconomia como solução para garantir a “floresta em pé”.<sup>[4, 5]</sup> Esse movimento demanda forte governança, articulação e integração com vários setores, a valorização do capital humano e social regionais e dos conhecimentos enraizados nas comunidades locais. (Figura 2)

Neste artigo, apresentamos ações-chave para uma agenda ambiental para a Amazônia, que emergem não apenas de uma reflexão teórica, mas da absorção e internalização das experiências acumuladas sobre esses temas ao longo de mais de 30 anos de pesquisas que desenvolvo na região. A intenção é clara: mostrar um caminho que considere a necessidade de manter o equilíbrio biótico e climático do planeta sem sacrificar o desenvolvimento local, transcendendo os interesses imediatistas e considerando políticas públicas transformadoras.

## Enfrentando o desmatamento e a degradação da floresta amazônica

Os primeiros sinais de desmatamento da floresta amazônica em larga escala estavam associados à expansão da agropecuária, concentrada principalmente ao longo das estradas e nos projetos de colonização. Nas décadas de 80-90, forma-se o “arco do desmatamento”, abrangendo os estados do Pará, Maranhão, Mato Grosso e Rondônia.<sup>[6]</sup> A partir de 2000, novas frentes de desmatamento acompanhavam a abertura de novas fronteiras agrícolas,<sup>[7]</sup> comandadas por uma dinâmica regional diversificada e que levaram, em um só ano (2003), a destruição de 27 mil km<sup>2</sup> de florestas.

*“Mesmo com todos os esforços empreendidos com políticas e ações contra o desmatamento da floresta amazônica, o Brasil está muito longe de alcançar o desmatamento zero proposto 18 anos atrás.”*

Visando dar uma resposta ao desmatamento, o governo brasileiro lançou, em 2004, o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), cujas ações foram responsáveis pela queda do desmatamento em 52% e da emissão de CO<sub>2</sub> de 270 para 621 bilhões de toneladas, entre 2004 e 2010. Em 2023, uma nova versão do PPCDAm,<sup>[8]</sup> estabeleceu as diretrizes e metas para zerar o desmatamento até 2030 e alcançou uma redução de 22,3% nesse ano.<sup>[9, 10]</sup> Mas essa retomada do controle do desmatamento e combate à degradação florestal requer o fortalecimento e a garantia de recursos e pessoal adequados, dos dois programas de monitoramento do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE): o Programa de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) e o Sistema de Detecção de Desmatamentos em Tempo Real (DETER). Ambos os programas estão sob constante ameaça de paralisação por falta de infraestrutura e pessoal adequados.

Mesmo com todos os esforços empreendidos com políticas e ações contra o desmatamento da floresta amazônica, o Brasil está muito longe de alcançar o



**Figura 1. Desmatamento entre os estados do Amazonas e Rondônia.**  
(Foto: Fábio Nascimento/ Greenpeace. Reprodução)

desmatamento zero proposto 18 anos atrás por.<sup>[3]</sup> Para avançar, é preciso combater a economia da grilagem <sup>[11]</sup> (a apropriação privada de terras públicas, associada a apropriação de financiamento público). Essa economia está ligada às atividades agropecuária e madeireira e integram também projetos de desenvolvimento na Amazônia, como a AMACRO, uma nova região de planejamento governamental voltada para o agronegócio, na confluência dos estados de Amazonas, Acre e Rondônia <sup>[ii]</sup>. O avanço recente do desmatamento nessa região demonstra a face mais preocupante desse processo,<sup>[12]</sup> pois atinge a região amazônica com o maior bloco de florestas contínuas, de maior diversidade.

Outra ação fundamental é a efetiva e justa aplicação da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei 12651/2012, conhecida como Código Florestal), que poderá fortalecer a governança sobre os usos da terra na região. Isso envolve a regularização ambiental de propriedades rurais, com emprego do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e do Programa de Regularização Ambiental (PRA), instrumentos que visam adequar os passivos ambientais, como veremos adiante, e mitigar o desmatamento, evitando novas perdas de vegetação nativa. Porém, medidas de regulamentação do PRA nos estados amazônicos e melhor articulação entre as esferas federal e estadual são necessárias para novos avanços nessa agenda.

Embora o desmatamento seja a parte mais visível da destruição da Amazônia, cerca de 38% de toda a área

florestal remanescente na região foram degradadas por incêndios, efeitos de borda, exploração madeireira e/ou secas extremas<sup>[13]</sup> e prevê-se que até 20% da floresta remanescente na Amazônia oriental queime nos próximos anos.<sup>[14]</sup> Portanto, considerar degradação florestal zero e a sua inclusão na agenda do PPCDAM é urgente e necessária.<sup>[15]</sup> Neste sentido, o anúncio do Decreto 11687/2023<sup>[16]</sup> que dispõe sobre a elaboração da lista dos municípios amazônicos prioritários para as ações de prevenção, monitoramento, controle e redução de desmatamentos e degradação florestal, é um alento. Outras medidas, como a criação de um fundo emergencial para prevenção e combate ao fogo em anos de seca extrema, e o apoio aos extrativistas e agricultores durante eventos de secas extremas, são igualmente importantes.<sup>[9]</sup> (Figura 3)

## Expandindo o sistema de áreas protegidas

A expansão e a consolidação da rede de áreas protegidas amazônicas (Terras Indígenas e Unidades de Conservação) desempenharam um papel central na redução do desmatamento das florestas amazônicas. Entre 2002 e 2016, houve a expansão de 61 milhões de hectares de áreas protegidas, e essa expansão foi responsável por 37% da redução total do desmatamento na região entre 2004 e 2006.<sup>[17]</sup>

Um grande desafio para a meta de desmatamento zero é destinar as terras públicas não destinadas para a criação de novas áreas protegidas, como sugerimos em 2005.<sup>[3]</sup> Há uma fragilidade de governança e de gestão de terras públicas nas esferas federal e estadual e é preciso buscar a sua regularização. São cerca de 595 mil km<sup>2</sup> de terras públicas não destinadas na Amazônia<sup>[18]</sup> e é sobre essas áreas que ocorrem a ocupação ilegal de terras, o desmatamento ilegal e as queimadas criminosas.<sup>[19, 20]</sup> A prática mais comum dos criminosos é a de usar terras públicas para regulamentação fundiária, pois sabem que essas terras poderiam ser transferidas para seus ocupantes.<sup>[21]</sup>

Uma legislação recente (Decreto federal n.º 11.688/2023) traz uma esperança. O decreto restringe a destinação às áreas privadas, priorizando a criação de áreas protegidas, terras indígenas, territórios quilombolas e de outros povos e comunidades tradicionais, reforma agrária, concessões florestais e políticas públicas de prevenção e controle do desmatamento. Se essas áreas forem incorporadas ao sistema de conservação da região, as terras

públicas estarão fora do mercado de terras, o principal motor da destruição das florestas na Amazônia.<sup>[22]</sup>

Mas onde, como e quanto custa criar novas áreas protegidas? O instrumento de Identificação de Áreas Prioritárias para Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira (Decreto Federal n.º 5092/2004; Deliberação CONABIO n.º 39 de 14/12/2005) pode ajudar nesse processo. Em 2018, o Brasil atualizou o mapa de áreas prioritárias para conservação na Amazônia e identificou cerca de 780 mil km<sup>2</sup> de áreas prioritárias para conservação.<sup>[23]</sup>

Usando essa base de dados do MMA e a base de dados das áreas públicas não destinadas cadastradas no Serviço Florestal Brasileiro

*“A abordagem de bioeconomia mais apropriada à Amazônia está fortemente baseada no conhecimento e manejo da biodiversidade das florestas praticados há séculos pelas populações tradicionais.”*

(SFB), fizemos um estudo exploratório, sobrepondo os dois mapas, e identificamos 300 mil km<sup>2</sup> de florestas públicas que podem ser destinadas para conservação (Figura 4 - dados inéditos) Para estimar os custos dessa destinação, usamos os dados de Silva et al. (2022)<sup>[24]</sup> e vimos que seriam necessários R\$ 1,13 bilhões (US\$ 226 milhões) em três anos para que o país destine essas áreas públicas como áreas protegidas na região. Comparativamente, o orçamento total realizado no PPCDAm entre 2007 e 2014 foi de R\$ 8,2 bilhões.<sup>[25]</sup>

Qualquer iniciativa que considere a destinação de terras públicas como áreas protegidas ou outras categorias deve necessariamente realizar audiências e consultas públicas envolvendo as comunidades locais.

## Conhecendo e valorizando a sociobiodiversidade

A abordagem da “bioeconomia” como solução para gerar riqueza econômica com a “floresta em pé”,<sup>[1, 5, 26]</sup> tem sido a principal proposta de desenvolvimento para a Amazônia. Sem entrar na discussão se este é o melhor modelo para a região, acreditamos que a abordagem de bioeconomia mais apropriada à Amazônia está



**Figura 2. Coluna de fogo avança sobre floresta degradada em Porto Velho, Rondônia.**

(Foto: Christian Braga / Greenpeace. Reprodução)

fortemente baseada no conhecimento e manejo da biodiversidade das florestas praticados há séculos pelas populações tradicionais.<sup>[27]</sup> No entanto, a expansão dessa bioeconomia da sociobiodiversidade depende de ações estruturantes para inovação, ainda inexistentes na região. O sistema de ciência e tecnologia da Amazônia se caracteriza por baixo investimento, instituições de pesquisa com deficiência de estrutura, fragilidade das redes de pesquisa, insuficiência na formação de pesquisadores, baixa fixação de pesquisadores na região e fragmentação das pesquisas, e esse quadro nos traz desafios enormes para mobilizar e concretizar ações eficientes em projetos que necessitem de forte embasamento científico, como o de bioeconomia.

Uma economia baseada na biodiversidade regional precisa contar com botânicos e ecólogos. Existem cerca de 2.250 produtos florestais não madeireiros (PFNM) de árvores e palmeiras, dentre as quais 1.037 são alimentícios, 1.001 são medicinais, e muitos são usados em cosméticos, manufatura de artesanato, dentre outros usos.<sup>[28]</sup> Ocorre que há apenas dois cursos de pós-graduação em botânica na região (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA e Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG) e estima-se que existem na Amazônia apenas 20 botânicos capazes de coletar e descrever espécies, e meia dúzia de parataxonomistas botânicos. Neste contexto, um programa regional de botânica deveria ser estruturado para amostrar, caracterizar, mapear a biodiversidade e aprofundar estudos etnobotânicos e ecológicos dos PFNM e formar pelo menos

mil novos botânicos e parataxonomistas até 2050, tendo como base o interesse das comunidades locais e a estrutura científica existente na região, com seus 330 campi de 34 institutos de P&D e universidades em mais de 166 municípios<sup>[iii]</sup>. Tais programas têm o potencial de conhecer e monitorar a biodiversidade, mas também valorizar o capital humano e social na inovação de produtos que melhorem a vida das populações que ocupam, conservam e manejam cerca de 40% das florestas da Amazônia.

## Restaurando áreas desmatadas e florestas degradadas

Combater o desmatamento e restaurar florestas foram os compromissos assumidos pelo Brasil na COP21. Mas para restaurar florestas, temos que saber onde estão as áreas degradadas, qual método vamos utilizar e quem deve praticar a restauração. Duas situações devem ser priorizadas na restauração de florestas na Amazônia: 1) restaurar áreas que tenham sido desmatadas ilegalmente nas propriedades e assentamentos; 2) restaurar áreas protegidas (UC e TI) desmatadas e com florestas degradadas.

Extenso diagnóstico quantificando as áreas de passivo ambiental e com obrigação de restauração foi feito recentemente por Câmara et al. (2023).<sup>[29]</sup> Em tese, 13,11 Mha de áreas desmatadas na Amazônia deveriam ser restauradas, se cumprido o Código Florestal. Dessa área com passivo ambiental e com obrigação de restauração, 3,62 Mha são áreas de vegetação secundária, 5,03 Mha são áreas de pastagem arbustiva (pastagem degradada) e 8,47 Mha são áreas de pastagem herbácea (com mais de 90% de gramíneas, portanto ativas para o desenvolvimento da pecuária). Em geral, médios e grandes proprietários possuem os maiores passivos ambientais e o nosso entendimento é que devem ser responsáveis pela restauração do que foi destruído indevidamente.

Considerando que a regularização ambiental em imóveis rurais com passivo ambiental é um dos mais importantes instrumentos de restauração da vegetação nativa, e ainda, que a condução da regeneração natural, como bem previsto no Código Florestal, é uma abordagem importante para restaurar florestas na Amazônia,<sup>[30]</sup> cerca de 8,65 Mha poderiam ser restauradas via esse método na Amazônia e facilmente atingiríamos 70% dos compromissos assumidos pelo Brasil.

Após 20 anos, as áreas de regeneração atingem cerca de 80% da fertilidade do solo, do estoque de carbono do solo e da diversidade de árvores das florestas maduras,<sup>[31]</sup> e é considerada uma solução de baixo custo. No entanto, nem todas as florestas regenerantes possuem alta integridade ecológica,<sup>[32]</sup> estando restritas às paisagens com maior cobertura de floresta nativa e histórico de uso da terra pouco intensivo,<sup>[30]</sup> o que não é o caso de áreas abandonadas pela pecuária extensiva na Amazônia. Sob esse aspecto, métodos híbridos de restauração (passiva e ativa) devem ser considerados na restauração de áreas de pastagens muito degradadas.

Em relação às áreas protegidas, sabe-se que o desmatamento tem crescido muito nos últimos cinco anos nessas áreas e correspondem a cerca de 20% do total do desmatamento anual.<sup>[10]</sup> Em geral, áreas desmatadas dentro de áreas protegidas

*“Há urgência de políticas que controlem o desmatamento e combatam a degradação florestal na região.”*

têm potencial de regeneração de alta integridade ecológica, por estar em matriz de paisagem com elevada cobertura florestal. Nesse caso, não há necessidade de envolver recursos de alta monta com projetos intensivos em capital, bastando conduzir a regeneração natural para garantir a integridade da floresta regenerante. Florestas incendiadas, por outro lado, têm regeneração lenta e, quando muito degradadas, requerem a aplicação de estratégia de restauração que envolve a restauração assistida, uma combinação de restauração passiva com plantio de árvores de interesse das comunidades, numa abordagem biocultural.<sup>[33]</sup>

Nessa abordagem, é imprescindível remover os fatores de degradação e construir aceiros para prevenir a propagação de incêndios florestais, que são grandes ameaças a projetos de restauração florestal na Amazônia.

Métodos de restauração que envolvem plantios de sementes e/ou mudas de espécies nativas são muito dispendiosos e apenas devem ser usados em situações em que o potencial de regeneração natural é baixo. Devemos levar em conta, também, que “plantações de árvores”, embora importantes economicamente e



**Figura 3. Debates sobre o futuro sustentável da região amazônica devem estar associados ao desmatamento e degradação zero e no apoio às bioeconomias regionais**

(Foto: Marcelo Camargo/ Agência Brasil. Reprodução)

fomentadas em muitos países, na “Década de Restauração do Ecossistema” da ONU, não devem ser consideradas como restauração florestal, pois não restabelecem ambientes diversos e complexos como as florestas.

## Um complexo e desafiador caminho

No momento em que a agenda ambiental ganha novo impulso no Brasil, é preciso pensar em estratégias que procurem trazer respostas a essa crise. Tendo como base a proposta de desmatamento zero na Amazônia, é importante considerar a inclusão da degradação zero na agenda e os enormes desafios para sua efetiva implementação. Primeiramente, destacamos a urgência de políticas que controlem o desmatamento e combatam a degradação florestal na região. Isso exige medidas robustas de combate a grilagem de terras, de fiscalização, implementação e monitoramento eficazes do desmatamento, além do fortalecimento de políticas e governança dos usos da terra e garantia dos territórios tradicionais.

Por outro lado, a criação de novas áreas protegidas e a promoção da bioeconomia da sociobiodiversidade apontam para a necessidade de políticas de conservação da biodiversidade que promovam a sua expansão, melhorias na gestão e a estruturação de um sistema de ciência e tecnologia capaz de atender a esses desafios, reconhecendo e valorizando o capital humano e social regional e os conhecimentos tradicionais das comunidades locais.

No que diz respeito à restauração de áreas desmatadas e degradadas, apontamos para duas situações que requerem mais atenção e a importância de políticas que promovam a regeneração natural como uma estratégia prioritária. Isso requer a implementação de medidas de combate às queimadas e à degradação florestal, e a restauração ecológica, além do cuidado para evitar abordagens de restauração que não respeitem a complexidade dos ecossistemas florestais.

Para enfrentar esses desafios, é crucial uma abordagem integrada e biocultural, considerando não apenas as questões práticas e políticas, mas também a criação de estratégias participativas, a promoção do diálogo intercultural, assegurando que as políticas de conservação e restauração na Amazônia respeitem e incluam as comunidades tradicionais, em sua formulação e acompanhamento.

Por fim, constata-se que muitas questões estruturais para a consecução da agenda ambiental da Amazônia, aqui proposta, não se encontram sob governança de um único agente ou instituição. Existem aspectos de ordem técnica e política que afetam a implementação dessa agenda e, certamente, será necessário mobilizar vários atores regionais e tentar induzi-los a construir uma estratégia convergente de desenvolvimento para a Amazônia, capaz de superar os problemas históricos da região.

**Ima Célia Guimarães Vieira** é ecóloga, pesquisadora titular do Museu Paraense Emílio Goeldi/MCTI, assessora da Presidência da FINEP (Belém-Pará).

## Notas

[i] A proposta de desmatamento zero foi primeiramente apresentado em 2005 na publicação de Vieira et al.(2005). Com o apoio de 1,4 milhão de brasileiros de todas as regiões do país, o Greenpeace entregou ao Congresso Nacional, em 2016, uma proposta de lei de iniciativa popular para acabar como desmatamento no Brasil. Quatro propostas sobre desmatamento zero já tramitaram no Congresso Nacional (PLs 5398/05, 4179/08, 4307/12, e o Projeto de Lei do Senado 428/15). Em 2023, foi apresentado o Projeto de Lei 2258/23, que proíbe o corte de vegetação nativa em todo o território nacional pelo período de quatro anos.

[ii] Para mais informações sobre a região AMACRO ver <https://infoamazonia.org/2021/10/29/polo-agropecuário-oeste-amazonia-epicentro-desmatamento/>

[iii] Mapa das instituições públicas de ensino superior e pesquisa na Amazônia, produzido pelo Projeto Nova cartografia Social da Amazônia, coordenado por Ennio Candotti e Alfredo Wagner, com contribuição do Museu Goeldi, UEA, Embrapa e outros

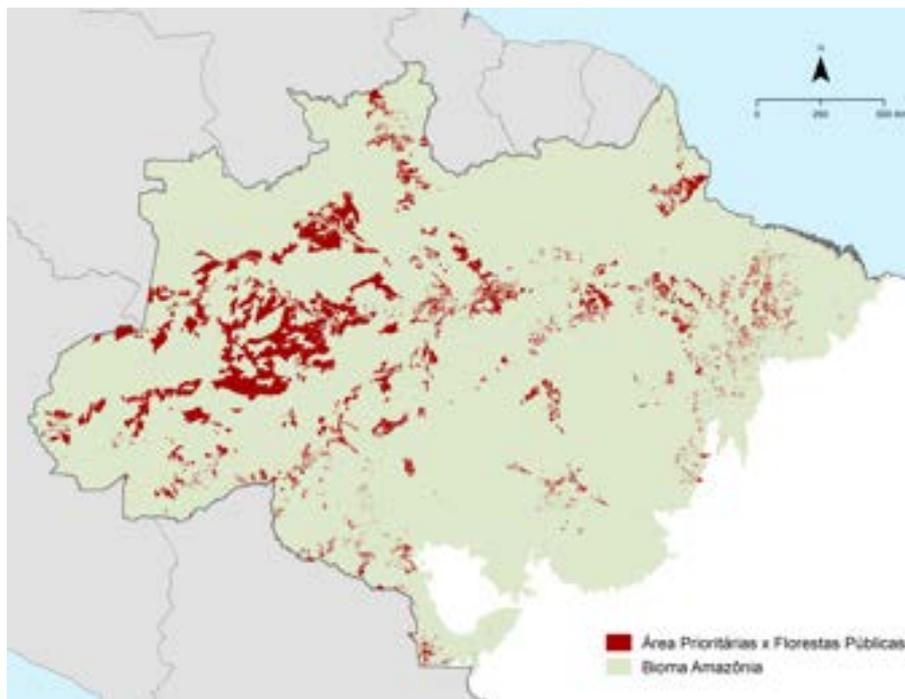
## Referências

[1] Becker, B. "Geopolítica da Amazônia". Dossiê Amazônia Brasileira I • *Estud. av.* 19 (53):71-86. 2005.

[2] Toledo, PM; Dalla-Nora, E.; Vieira, I.C.G.; Aguiar, A.P.D.; Araujo, R. "Development paradigms contributing to the transformation of the Brazilian Amazon: do people matter?". *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26:77-83. 2017.

[3] Vieira, I. C. G.; Silva, J. M. C.; Toledo, P. M. de. "Estratégias para evitar a perda de biodiversidade na Amazônia". *Estudos Avançados*, 19(54): 153-164.,2005.

[4] Fernandes, D.A.; Costa, F.d.A.; Folhes, R.; Silva, H.; Ventura Neto, R. "Por uma bioeconomia da sociobiodiversidade na Amazônia: Lições do passado e perspectivas para o futuro". (MADE Centro de pesquisa em macroeconomia das desigualdades, São Paulo). [https://madeusp.com.br/wp-content/uploads/2022/08/npe\\_23\\_madepdf.pdf](https://madeusp.com.br/wp-content/uploads/2022/08/npe_23_madepdf.pdf). 2022.



**Figura 4. Área 300 mil km<sup>2</sup> de florestas públicas com sobreposição às áreas prioritárias para conservação na Amazônia.**

(Fonte: J.M.Cardos & I.C.G Vieira)

[5] Abramovay, R.; Ferreira, J.; Costa, F.A.; Ehrlich, M.; Euler, A.M.C.; Young, C.E.F. & Villanova, L. The new bioeconomy in the Amazon: Opportunities and challenges for a healthy standing forest and flowing rivers. In: Nobre, C.A. (Ed) Amazon Assessment Report 2021. United Nations Sustainable Development Solutions Network., New York, NY, p.52.

[6] Fearnside, P. "Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle". *Acta Amaz.* 36 (3):395-400. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000300018> . 2006.

[7] Becker, B. "Geopolítica da Amazônia". Dossiê Amazônia Brasileira I • *Estud. av.* 19 (53):71-86. 2005.

[8] Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) : 5ª fase (2023 a 2027) / Subcomissão Executiva do PPCDAm. Brasília, DF: MMA, 119 p. 2023.

[9] Alencar, A.; Castro, I.; Laureto L.; Guyot, C.; Stabile, M.; Moutinho, P. Amazônia em Chamas - desmatamento e fogo nas florestas públicas não destinadas: nota técnica nº 7. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. Disponível em: <https://ipam.org.br/bibliotecas/amazonia-em-chamas-7-desmatamento-e-fogo-nas-florestas-publicas-nao--destinadas/>. 2021.

[10] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). PRODES Amazônia, <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes> (accessed 18 Nov 2023).

[11] Araujo, R. "Estudos que visam identificar, descrever e analisar os limites e alcances do arcabouço jurídico institucional atual relativo às organizações criminosas e suas atividades". Relatório Secretaria Nacional de Segurança Pública. 36 p. 2006. Disponível em <https://dspace.mj.gov.br/bitstream/1/2150/1/estudos-que-visam-identificar.pdf>

[12] Ferrante, L.; Fearnside, P.M. "Brazil's political upset threatens Amazonia". *Science* 371: 898, doi:10.1126/sci-ence.abg9786. 2021.

[13] Lapola, D.M.; Pinho, P.; Barlow, J.; Aragao, L.O.C.; Berenguer, E.; Carmenta, R.; Liddy, H.M.; Seixas, H.; Silva, C.V.J....and Walker, W.S. "The Drivers and Impacts of Amazon Forest Degradation". *Science*, 379, eabp8622. <https://doi.org/10.1126/science.abp8622>. 2023.

- [14] Brando, P.; Macedo, M.; Silvério, D.; Rattis, L.; Paolucci, L.; Alencar, A.; Coe, M.; Amorim, C. "Amazon wildfires: Scenes from a foreseeable disaster". *Flora*, 268, 151609. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151609>. 2020.
- [15] Alencar, A.; Dutra, D.; Berenguer, E.; Vieira I.C.G.; Ferreira, J.; Barlow, J.; Anderson, L.; Aragão, L.E.O.C.; Macedo, M. 2023. A degradação de florestas amazônicas precisa ser combatida. Disponível em [https://figshare.com/articles/online\\_resource/Policy\\_Brief\\_Degrada\\_o\\_das\\_florestas\\_amaz\\_nic\\_as/22683379](https://figshare.com/articles/online_resource/Policy_Brief_Degrada_o_das_florestas_amaz_nic_as/22683379). 2023.
- [16] Brasil. Casa Civil da Presidência da República. Decreto nº 11.687, de 5 de setembro de 2023. [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2023-2026/2023/decreto/d11687.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2023-2026/2023/decreto/d11687.htm). 2023.
- [17] Soares-Filho, B.S. "O papel das áreas protegidas da Amazônia, em especial as com apoio do ARPA, na redução do desmatamento". Rio de Janeiro: Funbio, 13 p. [https://www.funbio.org.br/wp-content/uploads/2018/02/Papel-das-Areas-Protegidas\\_PT.pdf](https://www.funbio.org.br/wp-content/uploads/2018/02/Papel-das-Areas-Protegidas_PT.pdf). 2016.
- [18] Silva, J. M. C. da; Barbosa, L. C. F.; Topf, J.; Vieira, I. C. G.; Scarano, F. R. "Minimum costs to conserve 80% of the Brazilian Amazon". *Perspectives in Ecology and Conservation* 20, 216–222. 2022.
- [19] Benatti, J.H. "A lei de regularização fundiária e o debate sobre justiça social e proteção ambiental na Amazônia". *Hileia. Revista de Direito Ambiental da Amazônia*, 12: 15-30. 2009.
- [20] Alencar, A.; Silvestrini, R.; Gomes, J.; Savian, G. "Amazon in Flames: the new and alarming level of deforestation in the Amazon". Report. Disponível em <https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2022/05/Amazon-in-Flames-9.pdf>. 2022.
- [21] Brito, B.; Barreto, P.; Brandão, A.; Baima, S.; Gomes, P.H. "Stimulus for land grabbing and deforestation in the Brazilian Amazon". *Environ. Res. Lett.* 14, 064018. 2019.
- [22] Costa, F. A. "Dinâmica agrária e balanço de Carbono na Amazônia". *Economia*, 10(1): 117-151. 2009.
- [23] Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Segunda Atualização das Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade. ([https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/conservacao-1/areas-prioritarias/copy\\_of\\_amazonia.jpg](https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/conservacao-1/areas-prioritarias/copy_of_amazonia.jpg)). 2018.
- [24] Silva, J. M. C. da; Barbosa, L. C. F.; Topf, J.; Vieira, I. C. G.; Scarano, F. R. "Minimum costs to conserve 80% of the Brazilian Amazon". *Perspectives in Ecology and Conservation* 20, 216–222. 2022.
- [25] Infoamazonia. "A Política do Desmatamento". Faleiros, G.; Verdum, R., Medaglia, T., Peixe, M., George, V., Carvalhaes, T., Rodil, T.. Disponível em: <<https://desmatamento.infoamazonia.org/>>. 2017.
- [26] Nobre, C.A.; Sampaio, G.; Borma, L.S.; Castilla-Rubio, J.C.; Silva, J.S.; Cardoso, M. "Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113: 10759-10768. 2016.
- [27] Fernandes, D.A.; Costa, F.d.A.; Folhes, R.; Silva, H.; Ventura Neto, R. "Por uma bioeconomia da sociobiodiversidade na Amazônia: Lições do passado e perspectivas para o futuro". (MADE Centro de pesquisa em macroeconomia das desigualdades, São Paulo). [https://madeusp.com.br/wp-content/uploads/2022/08/npe\\_23\\_madepdf.pdf](https://madeusp.com.br/wp-content/uploads/2022/08/npe_23_madepdf.pdf). 2022.
- [28] Coelho, S.D.; Levis, C.; Baccaro, F.B.; Figueiredo, F.O.G.; Pinassi Antunes, A.; Ter Steege, H.; Pena-Claros, M.; Clement, C.R.; Schiatti, J. "Eighty-four per cent of all Amazonian arboreal plant individuals are useful to humans". *PLoS ONE* 16: e0257875. 2021.
- [29] Câmara et al. 2023 *Environ. Res. Lett.* 18 065005
- [30] Regenera-Amazônia. Recomendações para o Monitoramento da Regeneração Natural na Amazônia. Nota Técnica. Jakovac, C; Giles, A., Vieira, I.C.G.; Mesquita (Orgs). Disponível em: <http://regenera-amaz.pdbff.org.br/files/nota-tecnica-recomendacoes-para-o-monitoramento-da-regeneracao-natural-na-amazonia.pdf>. 24p. 2023.
- [31] Poorter, L.; Craven D.; Jakovac, C.; van der Sande, M.; Amisshah, L.; Bongers, F.; Chazdon, R...and Herault, B. "Multifunctional tropical forest recovery". *Science* 374:6573. 2022.
- [32] Rosenfield, M.; Jakovac, C.; Vieira, D.L.M.; Pooter, L.; Brancalion, P.H.S.; Vieira, I.C.G.... and Mesquita, R. "Ecological integrity of tropical secondary forests: concepts and indicators". *Review Biol Rev Camb Philos Soc.* 98(2):662-676. doi: 10.1111/brv.12924. Epub. 2022
- [33] Pereira, C.A; Tabarelli, M.; Barros, M.F.; Vieira, I.C.G. "Restoring fire-degraded social forests via biocultural approaches: a key strategy to safeguard the Amazon legacy". *Restoration Ecology* 31(8), 2023.



Capa. O Pantanal é um mosaico contendo áreas inundáveis e não inundáveis, floresta decidual, savana, florestas ripárias, pastagens, áreas temporárias e áreas permanentemente aquáticas  
(Foto: [Jairmoreirafotografia](#). Reprodução)

# Bioma Pantanal

## *Da complexidade do ecossistema à conservação, restauração e bioeconomia*

Denise Brentan da Silva, Letícia Couto Garcia,  
Sandra Aparecida Santos, Geraldo Alves Damasceno Junior,  
Amanda Galdi Boaretto e Ieda Maria Bortolotto

### Resumo

O Pantanal é um bioma amplamente conhecido por ser a maior planície inundável do mundo, mais do que isso é um mosaico contendo áreas inundáveis e não inundáveis, floresta decidual, savana (cerrado), florestas ripárias, pastagens, áreas temporárias, áreas permanentemente aquáticas e com formações monodominantes características. É um reservatório de biodiversidade com organismos adaptados aos ciclos de seca, cheia e fogo, requerendo atenção especial para sua conservação e restauração, ainda mais com os desmatamentos e incêndios catastróficos que recentemente ocorreram. Essa região também possui populações indígenas e tradicionais, que detêm inclusive conhecimentos ancestrais sobre a biodiversidade da região e precisam ser incluídas nos planejamentos para a conservação e restauração desse bioma.

**Palavras-chave:** Pantanal; Bioeconomia; Formações monodominantes; Comunidades tradicionais; Fogo.

## Introdução

O Pantanal é um bioma com uma área de aproximadamente 179.300 km<sup>2</sup> com ocorrência no Brasil (78%), Bolívia (18%) e Paraguai (4%). No Brasil, ocorre nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo que este último concentra 65% da área brasileira.<sup>[1]</sup>

Os ecossistemas no Pantanal são conectados e usualmente moldados por efeitos antropogênicos e ações naturais. Uma característica marcante deste bioma são as estações bem definidas e caracterizadas por seca e chuva, sendo marcado pelo pulso de enchentes, o que influencia as comunidades do ecossistema e a ciclagem de nutrientes (Figura 1).<sup>[2]</sup> Recentemente, o Pantanal tem sido destaque devido aos frequentes incêndios de grandes proporções associados às mudanças climáticas como a redução das chuvas, da umidade relativa e as altas temperaturas, além de também sofrer com ações relacionadas à prática da pecuária.<sup>[3]</sup>

A biodiversidade do Pantanal é marcada por mais de 2.000 espécies de plantas, 131 répteis, 271 peixes, 57 anfíbios, 580 aves, 174 mamíferos e inúmeros invertebrados e microrganismos que merecem destaque por serem escassamente catalogados.<sup>[2,4]</sup> Além dessas espécies, ainda há muito para se descobrir e explorar no Pantanal, uma vez que são poucos os estudos, principalmente relacionados aos processos e funções, dificultados pelo acesso em algumas áreas e perdas continuamente relacionadas aos incêndios e desmatamentos.

Apesar de conter poucas plantas endêmicas, o Pantanal é um mosaico com áreas inundáveis e não inundáveis, floresta decidual, savana (cerrado), florestas ripárias, pastagens, além de áreas temporárias, áreas permanentemente aquáticas e com formações monodominantes.<sup>[4]</sup> Essa formação observada no Pantanal, juntamente com a alternância dos ciclos de seca e chuva, é um interessante alvo para estudos de fenômenos ecológicos, incluindo a movimentação dos animais e a adaptação das espécies a toda essa dinâmica de fatores bióticos e abióticos pertinentes ao bioma.

Nas diversas paisagens, desde a planície até as áreas de miorria (Figuras 1 e 2), há populações humanas que vivem em comunidades indígenas, tradicionais ou em propriedades privadas, como as grandes fazendas de gado bovino. Moradores de diversas cidades e comunidades rurais, como as localizadas ao longo do rio Paraguai, o

principal coletor de águas do Pantanal, ainda mantém conhecimentos ancestrais sobre a biodiversidade, apesar de mudanças acentuadas nas últimas décadas no contexto ambiental, social, econômico e cultural.<sup>[5]</sup> Assim, as demandas relacionadas à conservação do Pantanal devem incluir a preservação do patrimônio biocultural, incluindo tanto à conservação da biodiversidade quanto à manutenção das populações humanas e seus modos de vida. Fazem parte dos seus sistemas de conhecimentos tradicionais o hábito de tomar tereré, de fazer artesanato, extrativismo de plantas para fins medicinais, alimentícios e construção, caça, pesca e cultivo em roças e quintais.

Em meados da década

*“Recentemente, o Pantanal tem sido destaque devido aos frequentes incêndios de grandes proporções associados às mudanças climáticas como a redução das chuvas, da umidade relativa e as altas temperaturas, além de também sofrer com ações relacionadas à prática da pecuária.”*

de 1990, foram criadas Unidades de Conservação (UCs) como as Reservas do Patrimônio Cultural na borda oeste do Pantanal, por exemplo. Entretanto, a implementação dessas UCs adotou um modelo de exclusão das populações humanas,<sup>[6,7]</sup> contrariando recomendações como as do Programa "O Homem e a Biosfera" da UNESCO.<sup>[6]</sup> A perspectiva da conservação biocultural, deve estar contemplada, portanto, nas políticas públicas, que devem considerar aspectos sociais e culturais das populações humanas.

## O Pantanal e o fogo

O Pantanal, localizado em uma zona climática com intensa influência da sazonalidade, apresenta uma estação seca (de julho a outubro) e uma chuvosa (de novembro a março) com chuvas anuais ao redor de 1.000 mm. Também está sujeito a inundações de pulso monomodal causadas pelo transbordamento dos seus principais rios logo ao final da estação chuvosa.<sup>[8,9]</sup> No meio da estação seca, que em geral coincide com a fase terrestre do pulso de inundação, existe uma janela onde a biomassa vegetal acumulada no período de chuvas pode ficar disponível para queima, caso haja ignição.<sup>[10]</sup> Na área de inundação do Rio Paraguai,



**Figura 1. O Pantanal possui áreas inundáveis extensas que durante a seca não ficam submersas e áreas com queimadas recorrentes, apresentando espécies de plantas resistentes a essas condições extremas do bioma.**  
(Foto: Geraldo Alves Damasceno Junior)

parte oeste do Pantanal, a inundação ocorre com um atraso em relação ao período chuvoso das cabeceiras do rio. Isso acontece devido à topografia plana da região, fazendo com que essas águas levem cerca de três meses para alcançar a área de inundação.<sup>[8]</sup> Assim, o pico da inundação na região ocorre no meio da estação seca, o que diminui as possibilidades de ocorrência de fogo em anos de cheia normal do Pantanal. Portanto, os eventos de fogo nessa região são mais comuns nos anos em que o rio Paraguai não transborda.<sup>[10]</sup>

Vale ressaltar que o Pantanal é uma região dependente do fogo e este faz parte da paisagem,<sup>[11]</sup> existindo neste local antes dos registros mais antigos da presença humana na área Pantaneira.<sup>[10]</sup> Alguns tipos de vegetação são bastante associados ao fogo, como as formações monodominantes de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f ex S. Moore (Bignoniaceae), conhecidas localmente como paratudais com sua ocorrência associada a alta frequência de fogo e altos níveis de inundação.<sup>[12]</sup> A palmeira *Attalea phalerata* Mart. ex Spreng (Arecaceae) também se beneficia de ambientes com registro de fogo recorrente e com algum nível de inundação.<sup>[13]</sup> Até as matas ciliares no Pantanal são resistentes a fogo de baixa intensidade, apresentando efeitos como perda de riqueza e número de árvores nas bordas mais baixas que ficam em

transição com os campos inundáveis. Entretanto, o fogo de alta intensidade pode ter efeito catastrófico como o ocorrido nos eventos de incêndios registrados em 2020.<sup>[14]</sup>

No geral, cerca de apenas 1% do fogo no Pantanal é oriundo de causas como raios, e a maioria dos eventos de fogo são causados pelo manejo realizado por fazendeiros da região.<sup>[15]</sup> A principal atividade econômica nesse bioma é a criação de gado de corte com uso de pasto nativo.<sup>[2]</sup> Entretanto, como as espécies forrageiras tendem a ficar fibrosas com o tempo, há necessidade de queimar para que as folhas fiquem mais palatáveis para o gado.<sup>[10]</sup> Essa prática, associada à presença de biomassa vegetal acumulada e ao período de estiagem, podem resultar em incêndios.

Portanto, o desafio enfrentado pela ciência e pelos atores que vivem na região é manter a prática de uso das pastagens nativas, que conservam a flora local, empregando o fogo como instrumento de manejo, mantendo baixa emissão de carbono e com impacto mínimo para a flora e fauna locais. Nesse sentido, é importante que se inclua o Manejo integrado do fogo como ferramenta nas fazendas e unidades de conservação a fim de se evitar incêndios catastróficos e contribuir para a conservação dos recursos naturais da região.

## A química contida na biodiversidade do Pantanal

O Pantanal é considerado um reservatório de biodiversidade, contendo organismos altamente adaptados a condições estressantes como fogo, inundação e seca. Neste contexto, as plantas e microrganismos, por exemplo, produzem um poderoso arsenal químico para sobreviverem a essas condições e tais substâncias podem se tornar promissores alvos na busca de compostos de interesse para o desenvolvimento de produtos, ativos para o combate a doenças e compreensão de fenômenos ecológicos.<sup>[16]</sup> Desta maneira, o Pantanal é um valioso alvo de estudos, uma vez que carrega diversas informações químicas únicas para que seus organismos possam sobreviver às suas condições drásticas, o que ressalta a necessidade urgente de medidas para a sua conservação.

Como já abordamos no tópico sobre a relação do fogo com as espécies do Pantanal, destacamos o ipê amarelo, *T. aurea*, conhecido na região como paratudo que apresenta ocorrência em formações monodominantes

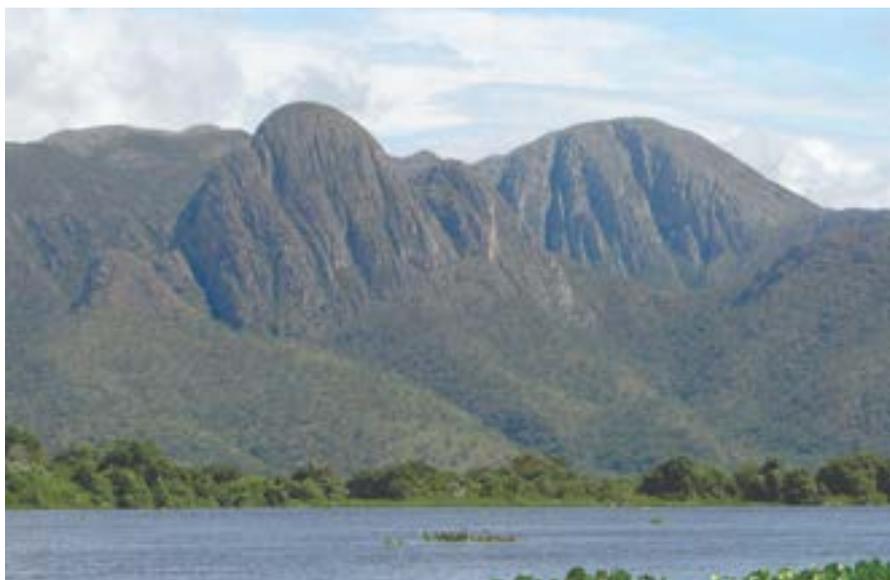
(paratudais) (Figura 3). O ipê amarelo tem uma grande importância para as comunidades tradicionais e ribeirinhos que costumam utilizar as suas amargas cascas para os tratamentos de picada de cobra e da dor. Estudos comprovaram que suas cascas é um poderoso agente anti-inflamatório, analgésico e promove redução dos danos causados por veneno de cobra em estudos com animais. A principal substância encontrada em grande quantidade em suas cascas do caule é o iridóide especiosídeo (Figura 3), podendo este ser um potencial alvo para desenvolvimento de fármacos e produtos, já que sua elevada produção e acúmulo na espécie facilita sua obtenção.<sup>[17,18]</sup>

A canjiqueira,

*“As demandas relacionadas à conservação do Pantanal devem incluir a preservação do patrimônio biocultural, incluindo tanto à conservação da biodiversidade quanto à manutenção das populações humanas e seus modos de vida.”*

*Byrsonima cydoniifolia* A. Juss, é também uma espécie que ocorre no Pantanal como uma formação monodominante (canjiqueiral). Seus frutos são utilizados pela comunidade para o consumo in natura e produção de sucos, geleias, licores e sorvetes. Esses frutos apresentam potente atividade anti-inflamatória e alto valor nutracêutico devido a elevada concentração de um estilbenoide *trans-piceatannol*, podendo ser uma fonte para esse composto, o qual é reconhecido pelos benefícios à saúde humana e ocorre também em uva e frutas vermelhas.<sup>[19]</sup>

O Pantanal também possui uma imensa biodiversidade de microrganismos ainda escassamente conhecida e explorada, incluindo os denominados de endófitos, que são microrganismos que colonizam o interior das plantas sem causar prejuízos a elas. Esses endófitos do Pantanal são raramente estudados, mas são alvos importantes para o desenvolvimento de estratégias na busca de novos fármacos e bioprodutos para as mais diversas áreas como agricultura, pecuária e alimentícia.<sup>[20]</sup> Um exemplo da relevância dos microrganismos do Pantanal para a ciência e bioeconomia é a startup Arandu Biotecnologia Ltda. que foi recentemente fundada



**Figura 2. Pantanal possui áreas de morraria (Serra do Amolar), além das extensas planícies**

(Foto: Geraldo Alves Damasceno Junior)

e está incubada na Pantanal Incubadora Mista de Empresas (PIME) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Essa startup desenvolve corantes naturais sustentáveis para o mercado a partir de microrganismos do Pantanal e, dentre seus produtos em desenvolvimento, possui um corante natural vermelho a ser lançado no mercado e passível de substituir o vermelho de cochonilha (vermelho carmim) que é amplamente usado na produção iogurtes, xaropes, embutidos, doces e sucos, mas que o Brasil importa do Peru esse corante, o qual é produzido a partir de um inseto praga agrícola, a cochonilha.<sup>[21]</sup>

## Sistemas de produção com base na biodiversidade

A permanência da pecuária de corte como a principal atividade econômica depende da eficiência produtiva associada à conservação da biodiversidade presente nas diferentes paisagens da região, além da qualidade de vida da população local. Como o Pantanal possui restrições à agricultura convencional devido às inundações periódicas, solos de baixa fertilidade, dificuldade de acesso, entre outras, é de fundamental importância buscar estratégias de uso sustentável da região. O Pantanal possui 2.250 espécies de fanerógamas, cujas principais famílias são as leguminosas (240 espécies), gramíneas (212 espécies) e ciperáceas (92 espécies).<sup>[4]</sup> As gramíneas, que consistem no principal componente da dieta de bovino,<sup>[22]</sup> estão presentes nos

ecossistemas abertos como campo limpo, campo cerrado, vazantes e bordas de lagoas, o que torna a região com aptidão natural para a criação extensiva de gado de corte.<sup>[23]</sup> O estabelecimento de sistemas de produção multifuncionais com a criação de gado de corte associado com a diversificação da produção, uso sustentável de recursos naturais aliado com a conservação dos serviços ecossistêmicos pode ser a opção mais sustentável para a região,<sup>[24]</sup> assegurando a conservação das paisagens e da biodiversidade da região. Porém, cada propriedade tem um limite de produtividade da pecuária variável em função do grau de inundação e da composição das paisagens, em especial das áreas campestres dominadas por forrageiras nativas.<sup>[24,25]</sup>

## Restauração do Pantanal

O Pantanal é o bioma com maiores lacunas de conhecimento a respeito de sua restauração<sup>[26]</sup> e ainda sem políticas de incentivo para tal como os Programas para Pagamentos por Serviços Ambientais.<sup>[27]</sup> Segundo o Plano Nacional de Vegetação Nativa (Planaveg 2017), o déficit legal no Pantanal é de 50 mil hectares que legalmente devem ser restaurados. Apesar desse valor parecer pequeno, perante os demais biomas, devido à complexidade de sua dinâmica sazonal, com grandes variações nos seus níveis de inundação, é grande a dificuldade de recuperação dos seus ecossistemas e estratégias de conservação devem ser prioritárias nas políticas públicas para a manutenção dos ecossistemas remanescentes.<sup>[28]</sup> Ou seja, antes de focar na restauração ativa ou passiva, a conservação do que existe é uma prioridade.

Desse modo, a conversão aumentando recentemente e em ritmo acelerado do bioma<sup>[26]</sup> e a introdução de grandes matrizes plantadas de pasto com uso de espécies de gramíneas invasoras será um problema a médio e longo prazo, tanto para a conservação, devido ao potencial invasor das mesmas sobre em áreas naturais e áreas protegidas (Reservas Legais e Áreas de Preservação Permanente), quanto para a restauração, devido à dificuldade e alto custo de controle dessas plantas. O controle da expansão das gramíneas exóticas, especificamente as braquiárias, possui alto custo, porém deve ser constante. Esse capim exótico, principalmente a braquiária, tem sido um grande problema para restaurar o Pantanal, a fim de reestabelecer os

processos ecológicos e a biodiversidade, uma vez que experiências prévias demonstram que intervenções de restauração ativa não têm tido sucesso devido ao efeito da competição com as gramíneas exóticas.<sup>[29,30]</sup> Ou seja, uma vez introduzidas, estas espécies invasoras só sairão do sistema com muito investimento financeiro (uso de herbicidas, roçagens mecânicas permanentes e de longo prazo). O nível de invasão por gramíneas exóticas pode afetar o potencial de regeneração, mesmo em áreas que estejam perto de fontes de sementes. Vale ressaltar que existem relatos de áreas que podem levar até 30 anos para recuperar a vegetação nativa, mesmo com alto potencial de resiliência.<sup>[29]</sup>

Por outro lado, é urgente a restauração das nascentes que abastecem a planície pantaneira, mas que nascem no planalto (compreendendo o Cerrado,

*“Os conhecimentos tradicionais e os científicos andam lado a lado e se complementam para estudarmos a biodiversidade e a sociedade.”*

Mata Atlântica e Amazônia) que é adjacente e sofrem grande pressão por serem de uso para agropecuária. Além disso, áreas remotas que, por exemplo, possam ter sofrido degradação por incêndios severos podem receber como estratégia de restauração o enriquecimento com espécies mais sensíveis que possam ter saído do sistema devido a estes incêndios recentes, sendo ideal que estas estratégias sejam implantadas em áreas prioritárias. Entretanto, devido à dificuldade de acesso às áreas remotas, técnicas de restauração que não necessitem de infraestrutura (ex. produção e transporte de mudas do viveiro) serão preferíveis.<sup>[31]</sup> A exemplo da técnica de transplante de plântulas provenientes da regeneração natural com uso de proteção anti-herbivoria individual (cercas em cada muda para evitar os grandes mamíferos).<sup>[29]</sup> Ademais, sempre atentando para escolha de espécies resistentes à inundação quando a implantação for feita em áreas alagadas sazonalmente.<sup>[32]</sup> Por fim, para alavancar a cadeia da restauração com diversidade genética, redes de sementes e de produção de mudas poderão gerar renda e oportunidades para as pessoas que diretamente dependem da natureza, tais



**Figura 3. Formações monodominantes do Pantanal com a espécie *Tabebuia aurea* (ipê amarelo) e em destaque suas flores e estrutura do iridoide especiosídeo presente nas cascas do caule desta espécie**

(Foto: Geraldo Alves Damasceno Junior)

como comunidades tradicionais, quilombolas, ribeirinhos e povos originários do Pantanal.

## Conhecimento Tradicional sobre Plantas Alimentícias nativas

Os conhecimentos tradicionais e os científicos andam lado a lado e se complementam para estudarmos a biodiversidade e a sociedade. Estudos etnobotânicos realizados ao longo do rio Paraguai, identificaram cerca de 70 espécies alimentícias nativas que fazem parte da cultura das populações humanas, incluindo o município de Corumbá e de Porto Murtinho.<sup>[33, 34]</sup> Estas espécies representam apenas uma parcela das 217 espécies alimentícias nativas usadas ou com potencial de uso no Pantanal.<sup>[35]</sup> Nesse trabalho, foram identificadas espécies com usos na literatura, citadas como parte da cultura dos Guató, dos Terena e dos Bororo, entre outros que ainda vivem no Pantanal e por povos indígenas extintos, mas cujos dados da literatura indicam os usos das plantas no passado. Diversas dessas espécies, com consagrado uso popular ao longo de numerosas gerações, têm um rico valor nutricional e podem representar uma excelente fonte de vitaminas, minerais e outros elementos importantes para a dieta.<sup>[34]</sup>

Apesar do potencial alimentício das plantas do Pantanal, elas ainda são pouco conhecidas pelas pessoas que vivem nas cidades com pequena inserção nos mercados.

Fora desse domínio cultural, elas têm sido chamadas de “Plantas Alimentícias não Convencionais” (PANC),<sup>[36]</sup> cujo termo tem sido associado a um movimento em prol do uso tanto das espécies nativas quanto das exóticas (introduzidas no Brasil) não convencionais na dieta. Mesmo se tratando de plantas nativas com valor cultural nas comunidades indígenas e tradicionais, há espécies que foram importantes no passado e que têm sido abandonadas, passando por um processo de erosão dos conhecimentos tradicionais. Esse é o caso das espécies de arroz nativo (*Oryza latifolia* Desv. e *O. glumaepatula* Steud.) (Figura 4).<sup>[33]</sup>

Nos municípios do Pantanal, com exceção da farinha de bocaiuva (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.) que é comercializada há mais de 30 anos na casa do Artesão de Corumbá, poucos frutos e produtos tradicionais tinham inclusão nos mercados ou feiras até meados da década de 1990. Considerando essa situação, juntamente com o processo de perda de conhecimentos tradicionais e busca por alternativas de renda nas comunidades, foi desenvolvido um Programa de Extensão visando a valorização das plantas alimentícias nativas, a sua conservação e a melhoria da qualidade de vida das pessoas, iniciado em 2006.<sup>[37]</sup>

Com o envolvimento e parceria de diversas comunidades, houve o estímulo ao aproveitamento de espécies com valor cultural ainda em uso e de espécies que estavam sendo abandonadas. As atividades, ainda em andamento (veja [sabores.ufms.br](http://sabores.ufms.br)), têm sido desenvolvidas nas comunidades, escolas e hotéis. Atualmente há várias instituições governamentais e não governamentais que incentivam o aproveitamento de espécies alimentícias nativas no Pantanal. Da mesma forma, as comunidades estão se organizando e tomando para si esta responsabilidade de desenvolver atividades nesta linha com grande envolvimento de mulheres.<sup>[38]</sup>

Em relação à conservação das espécies, ainda há muitos desafios. Espécies como o acuri (*A. phalerata*) e a canjiqueira (*B. cydoniifolia*), que têm populações numerosas, fornecem toneladas de frutos ao ano, ainda são consideradas invasoras de pastagens.<sup>[35]</sup> Associado a isso, os incêndios no Pantanal nos últimos anos danificaram boa parte da flora nativa, tornando os alimentos do local menos disponíveis tanto para a dieta humana quanto para a fauna silvestre. Os trabalhos de pesquisa e extensão continuam em desenvolvimento, buscando fortalecer tanto as comunidades, quanto a cultura local e os produtos que geram renda e movimentam a bioeconomia.

**Denise Brentan Silva** é professora na Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Alimentos e Nutrição (FACFAN) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Coordenadora do Laboratório de Produtos Naturais e Espectrometria de Massas (LAPNEM), coordenadora do Núcleo Mulheres da Sociedade Brasileira de Química (SBQ) e representante da regional Centro-Oeste da Sociedade Brasileira de Farmacognosia (SBFgnosia).

**Letícia Couto Garcia** é professora no Instituto de Biociências da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), coordenadora do Laboratório Ecologia da Intervenção (LEI), é membro representante do Centro-Oeste do Conselho Superior da Sociedade Brasileira de Restauração Ecológica (SOBRE).

**Sandra Aparecida Santos** é pesquisadora nível III da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e coordena projetos relacionados com Conservação de Recursos Genéticos Animais e Forrageiros, sistemas sustentáveis e multifuncionais como a “Fazenda Pantaneira Sustentável” e “Abordagem holística dos ecossistemas do Pantanal para definição de estratégias de manejo sustentável das pastagens nativas”.

**Geraldo Alves Damasceno Junior** é professor no Instituto de Biociências da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Coordenador do projeto “Estudo de longa duração dos efeitos do fogo ao longo do gradiente de inundação no Pantanal” contemplado no edital do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD).

**Amanda Galdi Boaretto** é técnica de laboratório do Laboratório de Produtos Naturais e Espectrometria de Massas (LaPNEM) da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Alimentos e Nutrição da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Atualmente é aluna de doutorado no Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação (PPGEC-UFMS).

**Ieda Maria Bortolotto** é pesquisadora sênior e docente do Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal de Mato do Sul (UFMS), colabora no programa de extensão “Valorização de Plantas Alimentícias do Pantanal e Cerrado” e atua na área de etnobotânica.

## Referências

- [1] MERELES, F. M., AQUINO, A. L., OWEN, R., CLAY, R., PALMIERI, J. H., SANJURJO, M., LOPEZ, M. J. Iniciativas transfronterizas para el Pantanal (Paraguay). Proyecto Cross Border Pantanal: Delimitacion, areas de conservacion, plan de conservacion [Across-border initiative for the Pantanal (Paraguay): Delimitation, protected areas, and conservation planning]. Paraguay: The Nature Conservancy, Fundacion para el Desarrollo Sustentable del Chaco, Usaid, 2020.
- [2] TOMAS, W. M.; DE OLIVEIRA ROQUE, F.; MORATO, R. G. et al. Sustainability Agenda for the Pantanal Wetland: Perspectives on a Collaborative Interface for Science, Policy, and Decision-Making. *Tropical Conservation Science* 12, 1-30, 2019.
- [3] FILHO, W. I.; AZEITEIRO, U. M.; SALVIA, A. L., FRITZEN, B.; LIBONATI, R. Fire in Paradise: Why the Pantanal is burning. *Environmental Science & Policy* 123, 31-34, 2021.
- [4] POTT, A.; OLIVEIRA, A. K. M.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; SILVA, J. S. V. Plant diversity of the Pantanal wetland. *Brazilian Journal of Biology* 71(1), 2011, 265–273
- [5] BORTOLOTTI, I.M.; GUARIMNETO, G. Aspectos históricos, sócio-ambientais e educacionais do distrito de Albuquerque, Corumbá, no Pantanal Sul-Mato- Grossense. *Revista Geografia* 19, 42-52, 2004.
- [6] BORTOLOTTI, I. M.; AMOROZO, M. C. M. Aspectos históricos e estratégias de subsistência nas comunidades localizadas ao longo do rio Paraguai em Corumbá- MS. Pp. 57-88, 2012. In Moretti, E.C., and Banducci Junior, A. (ed.): *Pantanal: territorialidades, culturas e diversidade*. UFMS, Campo Grande, MS, Brazil.
- [7] CHIARAVALLI, R. The Displacement of Insufficiently 'Traditional' Communities: Local Fisheries in the Pantanal. *Conservation and Society* 17, 173-183, 2019.
- [8] HAMILTON, S. K.; SIPPEL, S. J.; MELACK, J. M. Inundation patterns in the Pantanal Wetland of South America determined from passive microwave remote sensing. *Archiv für Hydrobiologie* 137, 1-23, 1996.
- [9] JUNK, W. J.; DA CUNHA, C. N.; WANTZEN, K. M.; PETERMANN, P.; STRÜSSMANN, C.; MARQUES, M. I.; ADIS, J. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Aquatic Sciences* 68, 278–309, 2006.
- [10] DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; PEREIRA, A. M. M.; OLDELAND, J.; PAROLIN, P.; POTT, A. Fire, Flood and Pantanal Vegetation, in: Damasceno-Junior, G.A., Pott, A. (Eds.), *Flora and Vegetation of the Pantanal Wetland*. Springer Nature Switzerland, Cham pp. 661–688, 2021.
- [11] PIVELLO, V. R.; VIEIRA, I.; CHRISTIANINI, A. V.; RIBEIRO, D. B.; DA SILVA MENEZES, L.; BERLINCK, C. N.; MELO, F. P. L.; MARENGO, J. A.; TORNQUIST, C. G.; TOMAS, W. M.; OVERBECK, G. E. Understanding Brazil's catastrophic fires: causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. *Perspectives in Ecology and Conservation* 19, 233-255, 2021.
- [12] DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; DA SILVA, R. H.; GRIS, D.; SOUZA, E. B.; ROCHA, M.; MANRIQUE PINEDA, D. A.; AMADOR, G. A.; SOUZA, A. H. A., OLDELAND, J.; POTT, A. Monodominant Stands in the Pantanal, in: Damasceno-Junior, G.A., Pott, A. (Eds.), *Flora and Vegetation of the Pantanal Wetland*. Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 393–442, 2021.
- [13] RIVABEN, R. C.; POTT, A.; BUENO, M. L.; PAROLIN, P.; CORDOVA, M. O.; OLDELAND, J.; DA SILVA, R. H.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A. Do fire and flood interact to determine forest islet structure and diversity in a Neotropical wetland? *Flora* 281, 151874, 2021.
- [14] GARCIA, L. C.; SZABO, J. K.; OLIVEIRA, F. R.; PEREIRA, A. M. M.; CUNHA, C. N.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; MORATO, R. G.; TOMAS, W. M.; LIBONATI, R.; RIBEIRO, D. B. Record-breaking wildfires in the world's largest continuous tropical wetland: Integrative fire management is urgently needed for both biodiversity and humans. *Journal of Environmental Management* 293, 112870, 2021.
- [15] MENEZES, L. S.; OLIVEIRA, A. M.; SANTOS, F. L. M.; RUSSO, A.; SOUZA, R. A. F.; ROQUE, F. O.; LIBONATI, R. Lightning patterns in the Pantanal: Untangling natural and anthropogenic-induced wildfires. *Science of The Total Environment* 820, 153021, 2022.
- [16] GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química Nova* 30(2), 374-381, 2007.
- [17] NOCCHI, S. R.; KATO, N. N.; ALMEIDA, J. M.; FERREIRA, A. M. T.; TOFFOLI-KADRI, M. C.; MEIRELLES, L. E. F.; DAMKE, G. M. Z. F.; CONSOLARO, M. E. L.; RIGO, G. V.; MACEDO, A. J.; TASCIA, T.; REIS, S. V.; ALVES, F. M.; CAROLLO, C. A.; SILVA, D. B. Pharmacological properties of specioside from the stem bark of *Tabebuia aurea*. *Revista*



**Figura 4. Colheita de arroz do pantanal. Parte da Oficina do programa Sabores realizada na Escola Estadual Indígena João Quirino de Carvalho – Toghopanã, localizada na Aldeia Uberaba em Corumbá- MS – comunidade indígena Guató.**

(Foto: Ieda Maria Bortolotto)

- Brasileira de Farmacognosia-Brazilian Journal of Pharmacognosy 30, 118-122, 2020.
- [18] MALANGE, K. F.; SANTOS, G. G.; KATO, N. N.; PARADA, C.A.; TOFFOLI-KADRI, M. C.; CAROLLO, C. A.; SILVA, D. B.; PORTUGAL, L. C.; ALVES, F. M.; RITA, P. H. S.; RONDON, E. S. *Tabebuia aurea* decreases hyperalgesia and neuronal injury induced by snake venom. *Journal of Ethnopharmacology*, 233, 131-140, 2019.
- [19] SANTOS, V. S.; NASCIMENTO, T. V.; FELIPE, J. L.; BOARETTO, A. G.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; SILVA, D. B.; TOFFOLI-KADRI, M. C.; CAROLLO, C. A. Nutraceutical potential of *Byrsonima cydoniifolia* fruits based on chemical composition, anti-inflammatory, and antihyperalgesic activities. *Food Chemistry* 237, 240-246, 2017.
- [20] SAVI, D. C.; ALUIZIO, R.; GLIENKE, C. Brazilian Plants: An Unexplored Source of Endophytes as Producers of Active Metabolites. *Planta Medica* 85(8), 619–636, 2019.
- [21] SANTOS, E. A.; MACEDO, A. L.; SILVA, F. M. R.; SILVA, D. B. Perspectivas e desafios no desenvolvimento de novos corantes naturais. *Revista a Flora* 2(3), 4-7, 2022.
- [22] SANTOS, S.A.; SALIS, S.M.; URBANETZ, C.; DELBEM, A.; FRANCO, J.L.; COMASTRI FILHO, J.A.; SANTOS, P.M. Recomendações técnicas para o planejamento da introdução de forrageiras exóticas de forma sustentável no Pantanal. 2022. Corumbá: Embrapa Pantanal. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1149538/1/DOC176>
- [23] SANTOS, S. A.; POTT, A.; CARDOSO, E. L.; SALIS, S. M. de; VALLS, J. F. M.; GARCIA, J. B. Guia para identificação das pastagens nativas do Pantanal. Corumbá: Embrapa Pantanal, 218 p, 2019.
- [24] SANTOS, S. A.; LIMA, H. P. de; MASSRUHÁ, S. M. F. S.; ABREU, U. G. P.; TOMÁS, W. M.; SALIS, S. M.; CARDOSO, E. L.; OLIVEIRA, M. D. de; SOARES, M. T. S.; SANTOS JÚNIOR, A. dos; OLIVEIRA, L. O. F. de; CALHEIROS, D. F.; CRISPIM, S. M. A.; SORIANO, B. M. A.; AMÂNCIO, C. O. G.; NUNES, A. P.; PELLEGRIN, L. A. A fuzzy logic-based tool to assess beef cattle ranching sustainability in complex environmental systems. *Journal of Environmental Management* 198, 95-106, 2017.
- [25] GOMES, E.G.; SANTOS, S.A.; SALGADO, E.; NOGUEIRA, M.A.; OLIVEIRA, M.D.; TOMAS, W.M.; SALIS, S.M.; SORIANO, B.M. Multidimensional performance assessment of cattle ranches in the Pantanal from a data envelopment analysis perspective. *Ciência Rural* 53, e20220595. 2023.
- [26] GUERRA, A.; ROQUE, F. O.; GARCIA, L. C.; OCHAO-QUINTERO, J. M. O.; OLIVEIRA, P. T. S.; GUARIENTO, R. D.; ROSA, I. M. D. Drivers and projections of vegetation loss in the Pantanal and surrounding ecosystems. *Land Use Policy* 91, 104388, 2020.
- [27] MAMEDES, I.; GUERRA, A.; RODRIGUES, D. B. B.; GARCIA, L. C.; GODOI, R. F.; OLIVEIRA, P. T. S. Brazilian programs emphasize water-related services. *International Soil and Water Conservation Research* 11, 276-289, 2023.
- [28] POTT, A.; GARCIA, L. C.; PEREIRA, Z. V.; MATSUMOTO, M.; BRAGA, J. V. Potencial de regeneração natural da vegetação do Pantanal. *Ministério do Meio Ambiente* 6, 2018.
- [29] GARCIA, L. C.; REIS, L. K.; SALIS, S. M.; GUERRA, A.; PEREIRA, Z. V.; BOGARÍN, M. R. A.; POTT, A. Ecological restoration of Pantanal wetlands. 2022. In: *Flora and Vegetation of the Pantanal wetland*, Damasceno-Júnior, G.A. & Pott, A. Orgs., Ed. Springer, p. 739-766, 2022.
- [30] PEREIRA, Z. V.; SANGALLI, A.; PADOVAN, M. P.; LOBTCHENKO, J. C. P. Ecological restoration in a permanent preservation area in the State of Mato Grosso do Sul. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research* 3(4), 4394-4407, 2020.
- [31] RODRIGUES, R. R.; JAKOVAC, C. C.; MORAES, L. F.; VIEIRA, D.; SAMPAIO, A. B.; GANADE, G.; GARCIA, L. C.; OVERBECK, G. E. Capítulo 5: Práticas de restauração nos diferentes biomas brasileiros. In: *Crouzeilles R., Rodrigues R.R., Strassburg B.B.N (eds.) (2019). BPBES/IIIS: Relatório Temático sobre Restauração de Paisagens e Ecossistemas. Editora Cubo, São Carlos, pp.77, 2019.*
- [32] BOGARÍN, M. R. A.; REIS, L. K.; LAURA, V. A.; POTT, A.; SZABO, J. K.; GARCIA, L. C. Morphological and phenological strategies for flooding tolerance in Cerrado and Pantanal trees: implications for restoration under a new legislation. *Restoration Ecology* e13660, 1-12, 2022.
- [33] BORTOLOTTI, I. M.; AMOROZO, M. C. M.; GUARIM NETO, G.; OLDELAND, J.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A. Knowledge and use of wild edible plants in rural communities along Paraguay River, Pantanal, Brazil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 11, 46-46, 2015.
- [34] BORTOLOTTI, I. M.; GUIMARÃES, R. C. A.; CAMPOS, R. P.; DA SILVA LOPES, M. R.; DA SILVA, L. P. R.; SILVA, R. H.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; POTT, A.; HIANE, P. A. Food Composition Data: Edible Plants in Pantanal. In: *JACOB, M. C. M.; ALBUQUERQUE, U. P. De (Eds.). Local Food Plants of Brazil. Ethnobiology. [s.l.] : Springer Cham, pp. 297–324, 2021.*
- [35] BORTOLOTTI, I. M.; SOUZA, P. R.; POTT, A.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A. Wild Food Plants of the Pantanal: Past, Present, and Future. In: *JUNIOR, G. A. D.; POTT, A. (Eds.). Flora and Vegetation of the Pantanal Wetland. 1. ed. Cham: Springer, 18, pp. 689–733, 2021.*
- [36] KINUPP, V. F.; LORENZZI, H. *Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) no Brasil*. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014.
- [37] BORTOLOTTI, I.M., HIANE, P.A., ISHII, I.H., DE SOUZA, P.R., CAMPOS, R.P., JURACI BASTOS GOMES, R., FARIAS, C.D.S., LEME, F.M., de OLIVEIRA ARRUDA, R.D.C., DE LIMA CORRÊA DA COSTA, L.B., and DAMASCENO-JUNIOR, G. A. A knowledge network to promote the use and valorization of wild food plants in the Pantanal and Cerrado, Brazil. *Regional Environmental Change* 17, 1329-1341, 2017.
- [38] BORTOLOTTI, I. M.; ZIOLKOWSKI, N. E.; GOMES, R. J. B.; ALMEIDA, F. S.; CAMPOS, R. P.; AOKI, C. Mulheres em rede: conectando saberes sobre plantas alimentícias do Cerrado e do Pantanal. *Ethnoscintia* 6, 198-232, 2021.



Capa. Apesar da sua grande importância, a Caatinga é um dos biomas mais ameaçados do Brasil pela constante exploração dos seus recursos naturais.

(Foto: Agência Brasil/ Arquivo. Reprodução)

# A Caatinga

## *Um bioma exclusivamente brasileiro*

Janieli de Oliveira Melo, Renato Dantas-Medeiros,  
Leticia Gondim Lambert Moreira, Raquel Brandt Giordani  
e Silvana Zucolotto Langassner

### Resumo

O Brasil é o país mais megabiodiverso do mundo, abrigando uma diversa variedade de ecossistemas, como o Pantanal, Cerrado, Mata Atlântica, Amazônia, Pampa e Caatinga. A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro que ocupa aproximadamente 54% da Região Nordeste e 11% do território nacional, distribuído em nove ecorregiões distintas. Apesar de sua importância para a biodiversidade brasileira, a Caatinga ainda continua sendo um dos biomas menos conservados e conhecido cientificamente do país. A vegetação da Caatinga faz parte de um sistema global chamado Florestas e Arbustais Tropicais Sazonalmente Secos (FATSS) com a maior diversidade de espécies entre os núcleos de FATSS no Novo Mundo. A Caatinga é marcada por variações climáticas, vegetação diversificada e espécies únicas, formando um mosaico de flora, fauna e relevo. No entanto, a exploração dos recursos naturais ameaça este rico bioma que possui apenas 8% de proteção dentro das unidades de conservação. Nas últimas décadas, a Caatinga vem passando por um processo de degradação ambiental, causado pelo uso não sustentável dos seus recursos naturais e agravado pelo aumento da temperatura média global devido às mudanças climáticas. Isso está resultando na rápida extinção de suas espécies únicas, muitas das quais desaparecem antes mesmo de serem catalogadas e estudadas cientificamente. Apesar disso, a Caatinga

ainda continua sendo o lar de milhões de pessoas que desenvolveram estratégias específicas para lidar com as condições do clima semiárido, especialmente durante longos períodos de estiagem. Essa interação entre o homem e este bioma é digna de destaque. Assim, o presente artigo de divulgação científica apresenta uma abordagem geral das principais características e a atual conjuntura do bioma Caatinga, abordando sua biodiversidade única, em relação às espécies vegetais e animais, com especialidade nas adaptações às condições semiáridas. Além disso, também será apresentado de forma geral os principais desafios enfrentados pela Caatinga, como a degradação do habitat devido à exploração insustentável, o desmatamento, as espécies em extinção e as ameaças crescentes das mudanças climáticas. Por fim, foi destacada a importância das iniciativas e projetos que visam proteger e restaurar a Caatinga, e a divulgação dos desafios futuros que este bioma enfrenta, incluindo as projeções de perda de espécies devido às mudanças climáticas, e a necessidade de conscientização e ação para preservar e restaurar a Caatinga.

**Palavras-chave:** Biodiversidade brasileira; Semiárido; Fauna e flora; Plantas xerófitas; Mata branca; Conservação; Restauração.

## Introdução

O Brasil lidera a lista entre os países mais megabiodiversos do planeta,<sup>[1,2]</sup> composto por uma variedade de ecossistemas, que incluem desde áreas alagadas (Pantanal), savanas (Cerrado), florestas tropicais úmidas (Mata Atlântica e Amazônia), pastagens (Pampa) até as vegetações bem definidas, inseridas entre os núcleos das Florestas Tropicais Sazonalmente Secas, como a Caatinga.<sup>[3,4]</sup>

A floresta semiárida da Caatinga é lar de uma das maiores e mais densamente povoadas áreas de terra seca do planeta. Essa região, localizada predominantemente no Nordeste do Brasil, é uma unidade fitogeográfica bem definida com mais de 900.000 km<sup>2</sup>, que engloba múltiplos tipos de vegetação organizados em nove ecorregiões distintas.<sup>[5]</sup> A Caatinga se estende por praticamente toda a região Nordeste e seus estados federativos, bem como o norte de Minas Gerais. Apesar de ser considerada um ponto de destaque em biodiversidade, a Caatinga permanece como uma das regiões biogeográficas menos estudadas entre os biomas brasileiros,<sup>[3,6]</sup> ainda que pesquisas científicas tenham aumentado consideravelmente nessa temática na última década.<sup>[7,8]</sup> Ao referenciar um bioma específico, é fundamental destacar, primeiramente, a vegetação que o define (Figura 1). A vegetação característica da Caatinga pertence a um bioma global denominado Florestas e Arbustais Tropicais Sazonalmente Secos (FATSS), conhecido como SDTFW em inglês. Sua importância primordial reside no fato de que esse bioma é exclusivamente brasileiro.

representa a maior e mais contínua extensão dentro da categoria de Florestas e Arbustais Tropicais Sazonalmente Secos, além de abrigar a mais vasta diversidade de espécies entre os núcleos de FATSS no Novo Mundo.<sup>[9]</sup>

As interações entre

*“A Caatinga passa por um extenso processo de alteração e deterioração ambiental provocado pelo uso insustentável dos seus recursos naturais e acelerado pelas mudanças climáticas que vem aumentando ano a ano a temperatura média na Terra.”*

plantas e animais na Caatinga refletem fortemente o uso mutualístico, como a polinização e a dispersão de sementes, bem como mutualismos de proteção entre formigas e plantas. Além disso, também são observadas interações antagônicas, como a herbivoria. As relações entre plantas e seus polinizadores são o tipo de interação planta-animal mais amplamente pesquisado na Caatinga.<sup>[10, 11, 12]</sup>

Diversos vetores de polinização já foram documentados no bioma,<sup>[12]</sup> distribuídos em cerca de 13 tipos de sistemas de polinização, destacando-se por formigas, morcegos, abelhas, besouros, borboletas, "diversos pequenos insetos", beija-flores, lagartos, mariposas, mamíferos não-voadores, esfingídeos, vespas e vento. Com relação à herbivoria, efetivamente, há uma escassez de investigações que se evidencia no que tange esta temática, sendo que a maioria dos estudos direciona seu enfoque para a resposta dos insetos herbívoros diante das pressões ambientais peculiares a este bioma, ou seja, a relação planta e estresse ambiental. Pesquisas que abordam as características de defesa das plantas contra herbívoros na Caatinga são ainda mais escassas.<sup>[13]</sup>

O ambiente morfoclimático da Caatinga é classificado por meio de uma



**Figura 1: A composição florística e geomorfológica da Caatinga fazem uma composição única da paisagem. Lugares como este são singulares em um bioma que ainda é considerado como pouco estudado e explorado.**

(Fonte: Elaborado pelos autores)

notável combinação de fatores climáticos, geomorfológicos, hidrológicos, pedológicos e botânicos.<sup>[14]</sup> Neste domínio fitogeográfico, encontramos uma variação climática marcante, relevos e paisagens diversas, uma ampla gama de fitofisionomias, uma variedade de tipos de solos e abundantes estruturas geológicas.<sup>[15]</sup> No que concerne aos solos, a Caatinga apresenta substratos pedregosos e rasos com grande presença de afloramentos de rochas maciças. A formação desses solos iniciou com o processo de pediplanação, seguido de erosão, predominando o intemperismo físico ao longo de milhões de anos na região Nordeste do Brasil.<sup>[16]</sup> Em resumo, os solos resultam da interação complexa de diversos fatores ambientais, como o tempo, clima, relevo e os processos mecânicos, químicos e biológicos.<sup>[17]</sup>

Apesar da sua grande importância, a Caatinga é um dos biomas mais ameaçados do Brasil pela constante exploração dos seus recursos naturais: apenas 8% da sua extensão estão dentro de unidades de conservação e menos de 2% estão dentro de unidades de conservação integral (CNUC/MMA), o que tem levado ao desmatamento e a degradação florestal com impactos na biodiversidade, nos serviços ecossistêmicos e na fragmentação do bioma.<sup>[18]</sup> Contudo, estudos recentes mostram endemismo de cerca de 54% para peixes, 48% para lagartos, 23% para plantas, 20% para anfíbios e 6% para mamíferos no bioma.<sup>[19]</sup>

A Caatinga se destaca por apresentar uma vegetação composta predominantemente por espécies de baixa a média estatura, principalmente arvoretas e arbustos.<sup>[20]</sup> Muitas dessas espécies são sofisticadamente adaptadas às condições do ambiente semiárido, demonstrando uma

variedade de estratégias para assegurar sua sobrevivência. Estas incluem a capacidade de reter água nos tecidos, a queda de folhas para minimizar a perda de umidade durante os períodos de seca e ciclos de floração definidos conforme os períodos chuvosos,<sup>[21]</sup> bem como adaptações fisiológicas que refletem na produção de metabólitos e proteínas especializados. Além disso, as espécies da Caatinga podem estar adaptadas a longos períodos de seca, enquanto algumas espécies podem ser extremamente vulneráveis a mudanças climáticas rápidas. Apesar da alta diversidade, atualmente apenas metade de sua floresta original está preservada, sendo que a maior parte continua desprotegida por lei.<sup>[22]</sup> A fragmentação deste bioma influencia negativamente algumas interações ecológicas em múltiplos níveis e, conseqüentemente, a adaptação da biodiversidade nativa e endêmica em cenários degradados, favorecendo principalmente a sobrevivência de plantas xerófitas que apresentam adaptações especiais tanto estruturais quanto funcionais.<sup>[18, 21]</sup> As plantas xerófitas são espécies vegetais adaptadas a condições áridas (desérticas) e semiáridas (secas de longo prazo), e são encontradas em regiões com pouca disponibilidade de recursos hídricos.<sup>[23]</sup> No Brasil, as plantas xerófitas ocorrem com maior evidência no bioma Caatinga e possuem características morfológicas particulares que permitem diferenciá-las de outros grupos vegetais, como a perda das folhas, aumento da raiz e interrupção do crescimento das partes aéreas nos períodos de seca.<sup>[18, 21]</sup> A exposição virtual "[Caatinga em foco: biodiversidade, ciência e preservação](#)" está hospedada no site do [Museu Câmara Cascudo](#) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e apresenta características do bioma, bem como, de forma especial, de uma planta considerada como resistente à dessecação, e, portanto, chamada planta da ressurreição. Trata-se de *Selaginella convoluta*, uma licófito conhecida como mão fechada ou jericó, utilizada popularmente para tratar de problemas urinários femininos. Ao acessar a exposição virtual, o visitante tem a oportunidade de conhecer melhor intrigantes características e impacto da Caatinga e sua preservação na vida cotidiana.

Devido à fácil adaptação de algumas espécies vegetais a condições extremas de seca, tais como o umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda), baraúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl.), imburana (*Commiphora leptophloeos* Mart. J.B. Gillett.), jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* Willd.

Poir.), e quixabeira (*Aideroxylon obtusifolium* [Humb. ex Roem. & Schult.] T.D. Penn.) se mostraram promissoras na restauração da Caatinga.<sup>[24, 25, 26]</sup> O Laboratório da Ecologia da Restauração (LER), sediado na UFRN, desenvolve o projeto de Restauração da Caatinga liderado pela professora Gislene Ganade desde junho de 2016. Além de extensos resultados disponíveis em artigos científicos do grupo ao longo dos anos, informações interessantes podem ser obtidas no [canal do YouTube do LER](#).

Vale ressaltar que as espécies vegetais como baraúna e quixabeira, somadas com as espécies aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) e umburana-de-cheiro (*Amburana cearensis* Allemão A.C. Sm.) foram consideradas vulneráveis ou em perigo de extinção, por

*"A gestão da política ambiental no Brasil em seu passado recente coleciona iniciativas desastrosas em relação à biodiversidade, tanto seu estudo científico como sua conservação."*

serem frequentes na área e por sua importância ecológica na Caatinga. Além de seu papel biológico na comunidade vegetal, estas espécies são extremamente importantes para a fauna local, uma vez que suas folhas, flores e frutos servem de alimento para répteis, aves, mamíferos e insetos.<sup>[28]</sup> Em relação à fauna, as espécies como a onça-parda (*Puma concolor*), a onça-pintada (*Panthera onca*), o gato-do-mato (*Leopardus tigrinus*), o guigó-da-Caatinga (*Callicebus barbarabrownae*), que é o único primata endêmico deste bioma, merecem atenção pela eminente ameaça de extinção.<sup>[27]</sup>

A Caatinga passa por um extenso processo de alteração e deterioração ambiental provocado pelo uso insustentável dos seus recursos naturais e acelerado pelas mudanças climáticas que vem aumentando ano a ano a temperatura média na Terra. Isso reflete na rápida perda de espécies únicas (muitas delas são extintas antes mesmo de serem catalogadas e investigadas cientificamente) (Figura 2), eliminação de processos ecológicos chaves e na formação de áreas extensas de desertificação na Região Nordeste.<sup>[28, 29, 30]</sup> Pesquisas recentes apontam que as mudanças climáticas podem acarretar perda de espécies da fauna e da flora em 90%



**Figura 2:** Com o avanço das ações antropológicas, é possível que num futuro próximo a Caatinga perca grande parte da sua biodiversidade. Espécies endêmicas, como umbuzeiro (*Spondias tuberosa* L.) [F] árvore símbolo, considerada como a grande árvore sagrada do sertão, pode desaparecer ou tornar-se uma espécie ameaçada de extinção. [A]: Xiquexique (*Pilocereus gounellei* (A. Weber ex K. Schum.) Bly. ex. Rowl); [B]: Corda-de-viola (*Ipomoea nil*) (L. Roth.); [C]: Mulungu (*Erythrina velutina* Willd.); [D]: Jetirana (*Ipomoea longeramosa* CHOISY); [E]: Macambira (*Bromelia laciniosa*); [F]: Umbuzeiro (*Spondias tuberosa* L.); [G]: *Passiflora* spp.; [H]: Imburana (*Commiphora leptophloeos*) (Fonte: Elaborado pelos autores)

desse bioma até 2060, a projeção é que a redução da variabilidade das espécies vegetais atinja 40% do território e, ainda, há o prognóstico de que 93% do bioma apresente substituição de espécies arbóreas por gramíneas, herbáceas e suculentas.<sup>[6]</sup>

Por ser uma das vegetações mais sensíveis às mudanças climáticas no mundo, cerca de 94% da Caatinga apresenta risco entre moderado a alto de desertificação.<sup>[31]</sup> As projeções climáticas futuras indicam secas mais prolongadas e temperaturas mais elevadas na Região Nordeste do Brasil, o que reduzirá o habitat de espécies nativas e endêmicas, e impactará diretamente nas funções ecossistêmicas, como a baixa disponibilidade de água.<sup>[19]</sup>

A gestão da política ambiental no Brasil em seu passado recente coleciona iniciativas desastrosas em relação à biodiversidade, tanto seu estudo científico como sua conservação. De fato, a Caatinga nunca foi prioridade de Estado. Isso foi agravado pelo recente desmonte dos dois maiores órgãos ambientais do país, o [Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade \(ICMBio\)](#) e o [Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis \(Ibama\)](#). Esses órgãos

ligados ao [Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima](#) são de extrema importância na fiscalização e na implementação de ações através da liderança ambiental, criando acordos e sistemas de gestão descentralizados, a fim de combater o desmatamento e a degradação florestal.<sup>[31]</sup> Diante do grande desafio da preservação e restauração da Caatinga em larga escala, há uma demanda urgente por ações que auxiliem as tomadas de decisões na realização e elaboração de projetos e de políticas sustentáveis tanto no presente quanto no futuro.<sup>[32]</sup> A mitigação dos impactos da desertificação da Caatinga em paralelo às perdas do bioma causadas pelas mudanças climáticas começa pela revisão das nossas relações com o meio ambiente de forma geral. Um problema multifatorial e complexo requer uma solução igualmente multifacetada e com diversos atores trabalhando com o mesmo objetivo, entre eles: governos, empresas, organizações não governamentais e os cientistas, de forma multidisciplinar, aliando conhecimentos em ecologia com bioeconomia. O momento não poderia ser mais propício para avançar nesse sentido, visto que a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu a Década da Restauração de Ecossistemas entre 2021 e 2030.

A Caatinga é o berço de cerca de 27 milhões de pessoas que sobrevivem em meio à aridez. Os catingueiros são sertanejos, vaqueiros, agricultores, além de indígenas Tumbalala, os Xukurus e os Pankararu e os quilombolas de Conceição das Crioulas. Uma população que ao longo de gerações desenvolveu estratégias para lidar com a escassez de água.<sup>[33]</sup>

*“A seca fez eu desertar da minha terra  
Mas felizmente Deus agora se alembrou  
De mandar chuva pra esse sertão sofredor  
Sertão das muié' séria, dos home' trabalhador  
De mandar chuva pra esse sertão sofredor  
Sertão das muié' séria, dos homens trabalhador”*

Luiz Gonzaga e Zé Dantas compuseram a música “A Volta da Asa Branca” em 1950, eternizada na voz do próprio Luiz Gonzaga, que traz uma narrativa de trabalho, migração, luta e resiliência,<sup>[34]</sup> temas que representam o trabalho e a vida do sertanejo, entre idas e vindas, para garantir o sustento da sua família frente à escassez de água. (Figura 3)

Esse cenário, embora propício para romances e músicas, ainda é um grande desafio para as populações que sofrem com o baixo desenvolvimento econômico e de

políticas públicas que fomentam o desenvolvimento sustentável e tecnológico, bem como o aproveitamento de mão de obra das comunidades locais.

O Sistema de Inteligência Territorial Estratégica (S.I.T.E) do bioma Caatinga, desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), com informações geradas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), busca fornecer subsídios para a elaboração de sínteses de contextualização para a melhor compreensão e gestão do bioma a fim de compreender a realidade social e econômica dos territórios para o sucesso de

*“Diante do grande desafio da preservação e restauração da Caatinga em larga escala, há uma demanda urgente por ações que auxiliem as tomadas de decisões na realização e elaboração de projetos e de políticas sustentáveis tanto no presente quanto no futuro.”*



**Figura 3: Açude Gargalheiras. As imagens representam o período de estiagem e chuva respectivamente. Localizado no município de Acari-RN, o reservatório inaugurado oficialmente no dia 27 de abril de 1959 tem capacidade total de 44.421.480,00 m<sup>3</sup>. Atualmente é considerado como patrimônio cultural, histórico, geográfico, paisagístico, ambiental e turístico do Rio Grande do Norte e foi utilizado como cenário nas filmagens do filme “Bacurau”, de 2019.**  
(Fonte: Elaborado pelos autores)

políticas de desenvolvimento, incluindo as ações voltadas ao setor agropecuário.<sup>[35]</sup>

O gráfico a seguir representa o número de vínculos empregatícios existentes no bioma Caatinga em cada um dos seus municípios em 2019, considerando apenas as atividades econômicas associadas à produção agropecuária (Divisões CNAE Agricultura, Pecuária e serviços relacionados; Pesca e aquicultura; Produção florestal; Fabricação de produtos alimentícios), diferenciadas por cor. Essa informação, associada à visão integrada do indicador do desenvolvimento municipal, permite extrair perfis e tendências de cada área da Caatinga em termos de suas características socioeconômicas e do trabalho. (Gráfico 1)

O gráfico descreve as principais fontes de emprego

formal relacionados às informações obtidas pelo [Censo Agropecuário de 2017 - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística \(IBGE\)](#), [Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal - Ano de Referência 2006](#) e [Relação Anual de Informações Sociais \(Rais\) do Ministério da Economia - Ano de Referência 2019](#) no bioma Caatinga, estando prevalente as atividades de agricultura, pecuária e serviços relacionados à produção de lavouras permanentes.<sup>[35]</sup>

Entretanto, muitas atividades não estão enquadradas na formalidade, mas são responsáveis pela garantia da fonte de renda e subsistência de diversas famílias, sobretudo as rendas obtidas por outras fontes como, por exemplo, empregos na área urbana e da agricultura familiar. Desta forma, movimentos sociais e a sociedade civil organizada são importantes ferramentas para garantir o fortalecimento e o protagonismo em diferentes espaços de tomada de decisão, possibilitando melhores condições de vida para as famílias e comunidades tradicionais.

Nesta vertente, a [ASA Brasil - Articulação no Semiárido Brasileiro](#) é uma rede formada por mais de três mil organizações da sociedade civil de distintas naturezas – sindicatos rurais, associações de agricultores e agricultoras, cooperativas, ONGs, Oscip, etc., que defende, propaga e põe em prática, inclusive através de políticas públicas, o projeto político da convivência com o Semiárido. As ações da ASA estão pautadas, principalmente, na cultura do estoque de água, alimentos, sementes, animais e todos os elementos necessários à vida na região.<sup>[36]</sup>

## Unidades de Conservação

As Unidades de Conservação (UC) representam uma forma de garantir a preservação da biodiversidade da Caatinga visto que, além de conservar os ecossistemas e a biodiversidade, geram renda, emprego, desenvolvimento sustentável e promovem uma efetiva melhora na qualidade de vida das populações locais.

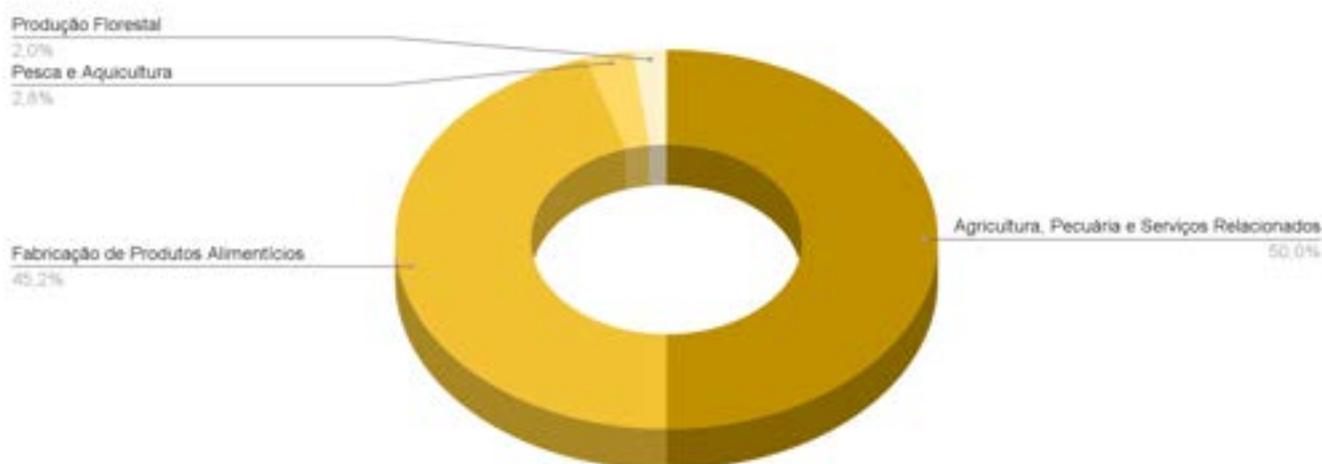
Atualmente existem 16 UC distribuídas no bioma, elas são divididas em dois grupos, sendo aquelas de **Proteção Integral** voltadas para pesquisas da biodiversidade e contam com medidas mais restritivas e as UC de **Uso Sustentável** que garantem o uso sustentável dos recursos naturais com a conservação e preservação do território. Entretanto, essas UC enfrentam dificuldades relacionadas à situação fundiária, queimadas descontroladas, falta de verbas para o funcionamento/manutenção, caça tradicional para subsistência, desmatamento/retirada de lenha, dentre outros listados pela [Embrapa](#).

Desta forma, visando preservar a biodiversidade da Caatinga, conservar nascentes e fontes hídricas, além de reverter os processos de desertificação, em 30 de setembro de 2023 o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima lançou o projeto Redeser. Com o investimento de R\$ 19 milhões do Fundo Global para o Meio Ambiente, o Programa tem como foco promover por meio da gestão integrada de paisagem, manejo florestal sustentável da Caatinga e sistemas agroflorestais beneficiar povos e comunidades tradicionais distribuídos nos 13 mil hectares dos 14 municípios em quatro territórios considerados essenciais do bioma — Seridó (PB/RN), Araripe (CE), Xingó (AL) e Sertão do São Francisco (BA).<sup>[37]</sup>

Uma iniciativa que também ganhou notoriedade foi a do Projeto Caatinga [@projeto\\_caatinga](#) da Universidade Rural do Semiárido (UFERSA), Fundação Guimarães Duque e a Petrobras, cujo objetivo é gerar tecnologia e informações sobre plantas da Caatinga. Iniciado em fevereiro de 2017, essa iniciativa visa a criação de referenciais para orientar a implantação e o monitoramento de projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) pelas atividades relacionadas à extração petrolífera, além de outras atividades como o entendimento do potencial de uso de espécies com a definição de parâmetros para montagem de protocolos individuais, contratos de RAD, a produção de mudas além de contribuição acadêmica e científica.

Outra iniciativa que objetiva difundir e ampliar a valorização do bioma é o [Projeto Educaatinga](#), que apresenta um espaço virtual interativo com ferramentas pedagógicas para apoiar os professores e profissionais da educação no ensino dos estudantes sobre a Caatinga e engajar os jovens em ações de preservação e valorização do bioma. A educação, especialmente de crianças e jovens, representa uma valiosa estratégia para que no futuro não seja necessário debater e explicar a importância da preservação da biodiversidade. Ao tomar para si o compromisso e a conscientização do valor da manutenção da flora, o ser humano vai automaticamente aprender sobre conservação e proteção ambiental. Muitas iniciativas estão disponíveis na divulgação científica da Caatinga para crianças. Três histórias contadas por personagens lúdicos buscam

*“A gestão da política ambiental no Brasil em seu passado recente coleciona iniciativas desastrosas em relação à biodiversidade, tanto seu estudo científico como sua conservação.”*



**Gráfico 1. Representação do número de vínculos empregatícios existentes no bioma Caatinga em cada um dos seus municípios em 2019, considerando apenas as atividades econômicas associadas à produção agropecuária**  
(Fonte: elaborado pelos autores baseado em [Quadro Socioeconômico - Portal Embrapa](#))

aproximar as crianças desse tema, elas estão vinculadas à exposição virtual da Caatinga que foi apresentada no início deste artigo. Fica, portanto, o convite para explorar esse conteúdo promovendo uma identificação afetiva com a Caatinga ao reconhecer seus mistérios, seu valor e sua identidade.

**Janieli de Oliveira Melo** é Enfermeira pela UNIFEQB. Especialista em Enfermagem em Infectologia e Mestre em Ensino em Ciências da Saúde pela Universidade Federal de São Paulo. Atuou como Docente e Preceptora do Curso de Enfermagem da UNIFEQB. Doutoranda do PPG em Ciências Farmacêuticas da UFRN na área de Farmacognosia.

**Renato Dantas-Medeiros** é Químico pela UFRN. Especialista em Tecnologias Educacionais. Mestre em Ciências Farmacêuticas pela UFRN. Doutor em Desenvolvimento e Inovação Tecnológica em Medicamentos pela UFRN. Atua na área de Produtos Naturais, Toxicologia, Tecnologia Farmacêutica e Farmacologia de espécies vegetais nativas do bioma Caatinga.

**Letícia Gondim Lambert Moreira** é Farmacêutica pela UFRN. Especialista em Investigação Forense e Perícia Criminal. Mestre em Ciências Farmacêuticas pela UFRN. Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas na UFRN. Investiga alcaloides tropânicos de espécies do bioma Caatinga.

**Raquel Brandt Giordani** é Farmacêutica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestre e doutora em Ciências Farmacêuticas pela UFRGS. Docente do Curso de Farmácia da UFRN atuando na área de produtos naturais. Investiga biossíntese e metabolismo especial de plantas da Caatinga associando protocolos ômicos.

**Silvana M. Zucolotto** é Farmacêutica pela UFSC. Mestre e Doutora pela UFSC. Docente do Curso de Farmácia da UFRN. Bolsista de Produtividade do CNPq (PQ2), Líder do Grupo de Pesquisa em Produtos Naturais Bioativos. Fundadora do [@fitoterapia.com.ciencia](#). Atua na área de Farmacognosia e controle de qualidade de insumos vegetais de plantas da Caatinga.

## Referências

- [1] BRASILa. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Biodiversidade Brasileira. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-brasileira>>. Acesso em: 21 Set. 2023.
- [2] SHARMA, S.; ARYA, R. Biodiversity Conservation with Special Reference to Medicinal Climbers: Present Scenario, Challenges, Strategies, and Policies. **Springer eBooks**, p. 23–63, 2016. Disponível em: <[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-19288-8\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-19288-8_2)>. Acesso em: 25 out. 2023
- [3] SANTOS, J. C.; LEAL, I. R.; ALMEIDA-CORTEZ, J.S.; FERNANDES, G.W.; TABARELLI, M. *et al.* Caatinga: The Scientific Negligence Experienced by a Dry Tropical Forest. **Tropical Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 276–286, 2011. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/194008291100400306>>. Acesso em: 25 out. 2023.
- [4] OLIVEIRA, P. T.; SANTOS E SILVA, C. M. ; LIMA, K. C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 130, n. 1-2, p. 77–90, 2016. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-016-1865-z>>. Acesso em: 17 out. 2023.
- [5] SILVA, J.M.C., Lacher, T.E. 2019. Caatinga—South America. In: Goldstein, M.I., DellaSala, D.A. Encyclopedia of the World's Biomes. Elsevier, 554-561.
- [6] MOURA, M.R.; ALVES, F., PAOLUCCI, L.N; *et al.* Pervasive impacts of climate change on the woodiness and ecological generalism of dry forest plant assemblages. **Journal of Ecology**, v. 111, n. 8, p. 1762–1776, 2023. Disponível em: <<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2745.14139>>. Acesso em: 20 out. 2013.
- [7] DE ALBUQUERQUE, U., DE LIMA ARAÚJO, E., EL-DEIR, A.C.A; *et al.* Caatinga Revisited: Ecology and Conservation of an Important Seasonal Dry Forest. **The Scientific World Journal**, v. 2012, p. 1–18, 2012. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/tswj/2012/205182/>>. Acesso em: 26 out. 2023.
- [8] LESSA, T., DOS SANTOS, J. W., CORREIA, R. A., LADLE, R. J., MACHADO, A. C. *et al.* Known unknowns: Filling the gaps in scientific knowledge production in the Caatinga. PLOS ONE, v. 14, n. 7, p. e0219359–e0219359, 2019. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31269071/>>. Acesso em: 1 nov. 2023.
- [9] QUEIROZ, L. P.; CARDOSO, D.; FERNANDES, M.; MORO, M. "Diversity and evolution of flowering plants of the Caatinga domain". In: da Silva, J. C.; Leal, I.; Tabarelli, M, (eds.), Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America. Cham: Springer, 2017, p. 23-63.
- [10] MACHADO, I. C. Floral Traits and Pollination Systems in the Caatinga, a Brazilian Tropical Dry Forest. **Annals of Botany**, v. 94, n. 3, p. 365–376, 2004. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15286010/>>. Acesso em: 16 out. 2023.
- [11] GOMES, V. G. N.; QUIRINO, Z. G. M. ; MACHADO, I. C. Pollination and seed dispersal of *Melocactus ernestii* Vaupel subsp. *ernestii* (Cactaceae) by lizards: an example of double mutualism. **Plant Biology**, v. 16, n. 2, p. 315–322, 2013. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/plb.12063>>. Acesso em: 30 out. 2023.
- [12] LEAL, I. R.; *et al.* Interações planta-animal na Caatinga: visão geral e perspectivas futuras. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 35–40, 2018. Disponível em: <[http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252018000400011](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252018000400011)>. Acesso em: 1 nov. 2023.
- [13] DOURADO, A.C.P.; SÁ-NETO, R. J.; GUALBERTO, S. A. CORRÊA, M. M. *et al.* Herbivoria e características foliares em seis espécies de plantas da Caatinga do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 14, n. 3, p. 145–151, 2016. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/index.php/rbrasbioci/article/view/114671/61967>>. Acesso em: 1 nov. 2023.
- [14] CONTI, J.B; FURLAN, S.A. **Geoecologia: O clima, os solos e a Biota**. In: ROSS, J.L (org). Geografia do Brasil. São Paulo, Edusp, 2014. Acesso em: 01 nov. 2023.
- [15] MORO, M.F. SÍNTESE FLORÍSTICA E BIOGEOGRÁFICA DO DOMÍNIO FITOGEOGRÁFICO DA CAATINGA. 2013. 366 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biologia, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013. Disponível em: <<https://bv.fapesp.br/pt/dissertacoes-teses/213736/sintese-floristica-e-biogeografica-do-dominio-fitogeografico>>. Acesso em: 1 nov. 2023.
- [16] PRADO, D.E., 2003. As caatingas da América do Sul. Pp. 3-73. In: I.R. LEAL, M. TABARELLI, J.M.C. SILVA (eds.). Ecologia e conservação da Caatinga. Recife, Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco.
- [17] ARAÚJO FILHO, J. C. de. 2011. Relação solo e paisagem no bioma Caatinga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 14., 2011. "Dinâmicas socioambientais das inter-relações às interdependências". Dourados: UFGD.
- [18] OLIVEIRA, P. T.; SANTOS E SILVA, C.M. ; LIMA, K. C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 130, n. 1-2, p. 77–90, 2016. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-016-1865-z>>. Acesso em: 17 out. 2023.
- [19] NIEMEYER, J. VALE, M.M. Obstacles and opportunities for implementing a policy-mix for ecosystem-based adaptation to climate change in Brazil's Caatinga. **Land Use Policy**, v. 122, p. 106385, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837722004124>>. Acesso em: 3 out. 2023.
- [20] FERNANDES, M. F.; QUEIROZ, L.P. Vegetação e flora da Caatinga. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 51–56, 2018. Disponível em: <[http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252018000400014](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252018000400014)>. Acesso em: 1 nov. 2023.
- [21] RICARDO S.D.F.; COE H.H.G.; DIAS R.R *et al.* *et al.* Reference collection of plant phytoliths from the Caatinga biome, Northeast Brazil. **Flora**, v. 249, p. 1–8, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0367253018302834>>. Acesso em: 1 nov. 2023.

- [22] ANTONGIOVANNI, M., VENTICINQUE, E. M., FONSECA, C. R. Fragmentation patterns of the Caatinga drylands. **Landscape Ecology**, v. 33, n. 8, p. 1353–1367, 2018. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-018-0672-6>>. Acesso em: 30 set. 2023.
- [23] MOHANTA, T. K. *et al.* Physiology, genomics, and evolutionary aspects of desert plants. **Journal of Advanced Research**, 2023. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37160225/>>. Acesso em: 19 set. 2023.
- [24] DANTAS-MEDEIROS, R., ZUCOLOTTI, S.M. **Revista A Flora - Atual**. [www.revista-aflora.com.br](http://www.revista-aflora.com.br). Disponível em: <<https://www.revista-aflora.com.br/atual/>>. Acesso em: 1 out. 2023.
- [25] FIGUEIREDO, J. M. **Revegetação de áreas antropizadas da Caatinga com espécies nativas**. 2010. (Dissertação de Mestrado). Mestrado em Ciências Florestais. Instituição de Ensino: Universidade Federal de Campina Grande. 2010.
- [26] NASCIMENTO, A. C. C. **Potencial de uso da espécie imburana (*Commiphora leptophloeos*) em projetos de restauração da Caatinga**. 2019. (Trabalho de conclusão de curso) Graduação em Ecologia. Instituição de Ensino: Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2019.
- [27] KIILL, L.H.P. *et al.* **Caatinga: flora e fauna ameaçadas de extinção**. Embrapa, 2009.
- [28] LEAL, I. R., M. TABARELLI, E J. M. C. SILVA. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil. 2003.
- [29] PEREZ, A. Entendendo sobre Desertificação: Conceitos, características, causas, consequências e soluções. Instituto Nacional do Semiárido (INSA), 2021 Acesso em: 30/10/2023 Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/assuntos/noticias/entendendo-sobre-desertificacao-conceitos-caracteristicas-causas-consequencias-e-solucoes>
- [30] DA SILVA, B. F., RODRIGUES, R. Z. S., HEISKANEN, J., *et al.* Evaluating the temporal patterns of land use and precipitation under desertification in the semi-arid region of Brazil. **Ecological Informatics**, v. 77, p. 102192, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954123002212>>. Acesso em: 23 set. 2023.
- [31] DA SILVA, J.M.C., LEAL, I.R., TABARELLI, M. **Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America**. Springer, 2017.
- [32] MILHORANCE, C., SABOURIN, E., LE COQ, J.F., MENDES, *et al.* Unpacking the policy mix of adaptation to climate change in Brazil's semiarid region: enabling instruments and coordination mechanisms. **Climate Policy**, v. 20, n. 5, p. 593–608, 2020. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Unpacking-the-policy-mix-of-adaptation-to-climate-Milhorance-Sabourin/40956373d683616525f0c5e64f225bb929fa34f4>>. Acesso em: 14 out. 2023.
- [33] INSTITUTO SOCIEDADE, POPULAÇÃO E NATUREZA. **Povos e Comunidades Tradicionais da Caatinga Disponível em: [Convivência com o Semiárido - ISPN - Instituto Sociedade, População e Natureza](#) Acesso em: 09 de outubro de 2023.**
- [34] GONZAGA, L., DANTAS, J. A volta da Asa branca A Volta da Asa Branca. In: 50 anos de chão. SONY MUSIC ENTERTAINMENT BRASIL LTDA. Disponível em <https://youtu.be/-0O24WJVLUA?si=il3sBGfrYHlqgbLS>. Acesso em: 09 de outubro de 2023.
- [35] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema De Inteligência Territorial Estratégica. **Quadro Socioeconômico na Caatinga**. Disponível em: [S.I.T.E - Portal Embrapa](#). Acesso em: 09 de outubro de 2023.
- [36] ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO (ASA). Disponível em: [História - ASA Brasil - Articulação no Semiárido Brasileiro](#) Acesso em: 09 de outubro de 2023.
- [37] **MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. MMA relança projeto para combater desertificação na Caatinga. Disponível em: [MMA relança projeto para combater desertificação na Caatinga — Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima \(www.gov.br\)](#). Acesso em 06/10/2023**
- [38] **DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS. Açude Gargalheiras: de esperança contra as secas a polo turístico. Publicado em 02/02/2023 11h47 Disponível em [Açude Gargalheiras: de esperança contra as secas a polo turístico — Departamento Nacional de Obras Contra as Secas \(www.gov.br\)](#) Acesso em 30/10/2023**



Capa. A região do Pampa abriga aproximadamente 9% da biodiversidade brasileira em uma área pouco maior do que 2% das terras do Brasil.

(Imagem: Prof. Dr. Michel Mansur Machado. Reprodução)

# O cerne do Pampa

## *Conhecendo o mais austral dos biomas brasileiros*

Fabiane Moreira Farias, Carlos Augusto Riella de Melo,  
Débora Débora da Cruz Payão Pellegrini, Heinrich Hasenack  
e Maurício de Freitas Scherer

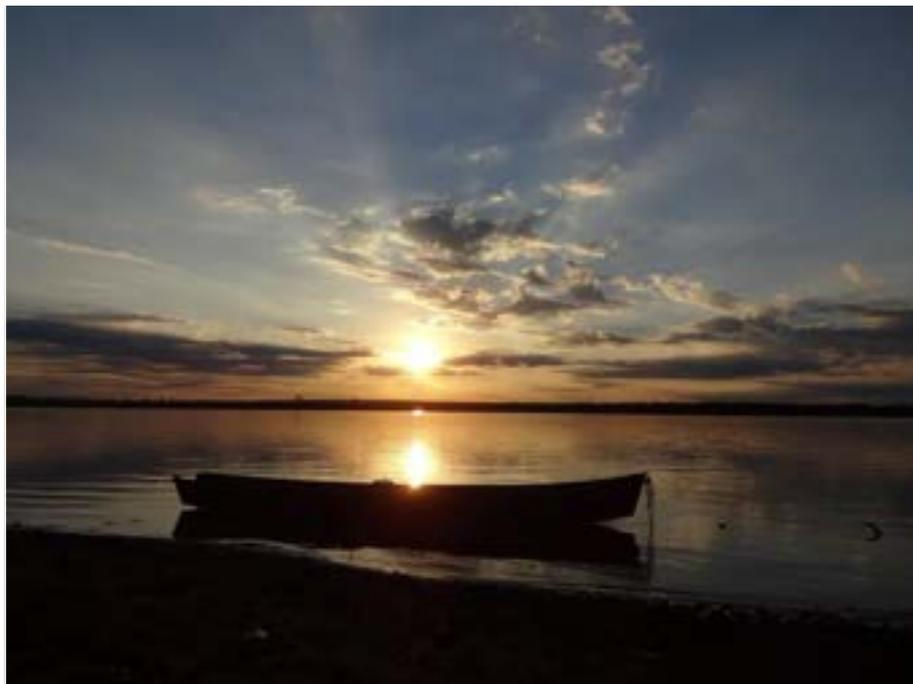
### Resumo

Este artigo tem a proposta de levar o leitor por uma breve jornada pelo pampa, o mais resiliente e negligenciado bioma brasileiro, que constitui mais de 60% do território gaúcho. Aqui levamos nosso viajante virtual para conhecer aspectos geográficos desse ambiente único, possibilitando conhecer a composição geológica dos diferentes solos da região e a grande bacia hídrica que rega este ambiente. Em seguida, fazemos uma breve apresentação da biodiversidade do pampa gaúcho, tanto de sua fauna quanto de sua flora. Então apresentamos os problemas ambientais que o bioma enfrenta, tais como a arenização e a perda de biodiversidade nativa frente a plantas e animais invasores e/ou introduzidos, mostrando ainda o que tem sido feito para mitigar o problema, em especial a criação e manutenção de Unidades de Conservação. Finalizamos o passeio apresentando ao leitor um pouco da história do pampa e da criação de seu tipo humano característico: o gaúcho, tratando de aspectos etnológicos, culturais e linguísticos. O objetivo deste texto não é aprofundar sobre nenhum dos aspectos tratados, mas apresentar um primeiro vislumbre, uma viagem rápida de reconhecimento deste ambiente, que já foi romanticamente chamado de “país da solidão”, e que é tão pouco conhecido pelos brasileiros.

**Palavras-chave:** Bioma pampa; Gaúcho; Biodiversidade; Unidades de Conservação.

## Introdução

O sol de primavera se estende por sobre as colinas que se assemelham a um mar verde serpenteando até onde a vista alcança. Em meio a uma das tantas manchas de árvores que se entremeiam às elevações e baixios cobertos de gramíneas, uma [raposa-dos-pampas](#) ([Lycalopex gymnocercus](#)) atentamente observa, da sombra, a um [joão-de-barro](#) ([Furnarius rufus](#)) que recolhe a lama da chuva recente para a construção de seu ninho; com um princípio de ansiedade, o canídeo fica um pouco indeciso entre avançar e arriscar perder sua presa ou esperar um pouco mais; alheio à ameaça, o pássaro segue trabalhando a lama com o bico. A raposa retesa ainda mais seus ombros, pronta para o bote... de repente, o silêncio das campinas é quebrado na direção do grande rio, chamado [Uruguai](#), que corre a escassos 100 metros dali. [Um grupo de ruidosos homens barbados](#), muitos vestindo negros hábitos jesuíticos, acaba de aportar balsas improvisadas na margem, fazendo destas descer algumas dezenas de cabeças de gado, fazendo os queroqueros ([Vanellus chilensis](#)) entoarem seu grito de alerta e o joão-de-barro desistir por hora da faina, indo se refugiar em uma das tantas manchas de floresta que pontuam



**Figura 1. O Rio Uruguai é o principal rio da bacia que leva seu nome. Na foto, vemos o rio na altura da cidade de Uruguaiana, onde divide a fronteira desta com a cidade de Paso de los Libres (Argentina).**

(Imagem: Fabiane Moreira Farias)

àquele ambiente majoritariamente coberto por gramíneas e ervas. O que a raposa ou o pássaro sequer desconfiam, entretanto, é que aqueles homens europeus que adentram o ambiente com seu gado, sua religião e seu barulho naquele distante dia do século 17 não mudaram apenas a sorte daquela caçada: o ambiente onde aqueles animais moravam, o pampa gaúcho, nunca mais seria o mesmo.

A proposta deste artigo é convidá-lo a embarcar em uma breve jornada por este que é o bioma mais resiliente e negligenciado do país mais megadiverso do mundo, munido de um “novo olhar” aliado à ciência moderna, sem deixar de lado algumas histórias e reflexões que auxiliarão na elaboração de estratégias inovadoras de conservação e sustentabilidade.

## A geografia

O pampa é uma região natural e pastoril caracterizado por planícies com colinas localmente chamadas de “coxilhas” – do espanhol *cuchillas*<sup>[1]</sup> – cobertas por campos, localizada no sul da América do Sul, embora em alguns lugares, como [Uruguaiana](#), na [Fronteira Oeste do Sul](#), e [Rio Grande](#), no [litoral gaúcho](#), se caracterizam por longas extensões totalmente planas. Seu nome advém dos idiomas nativos aimará e quéchua, significando “planície”.

Geograficamente, o bioma pode ser caracterizado pela fisionomia campestre, ora sem ora com a presença de capões de mata, o de galeria estendendo-se por quatro países: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. No Brasil, o pampa restringe-se à metade meridional do Rio Grande do Sul, ocupando cerca de 193.836 km<sup>2</sup>, constituindo 63% do território do estado ou 2,3% do território nacional, sendo assim o segundo menor bioma brasileiro. Essa área de extensão abrange 233 municípios gaúchos, fazendo limite apenas com o Bioma Mata Atlântica, ocupando as áreas geográficas (geomorfológicas) conhecidas como Planalto da Campanha, Depressão Central, Planalto Sul-Rio-Grandense e Planície Costeira.

O pampa constitui-se de uma grande variedade de ecossistemas, os quais são distribuídos em solos com características distintas, tendo o centro do Rio Grande do Sul áreas de bacia sedimentar, afloramentos cristalinos, graníticos e metamórficos; na área litorânea encontram-se depósitos de sedimentos relativamente recentes de origem marinha, já a região da Campanha porção das Missões predominam solos de origem basáltica, mas na Campanha ocorrem também áreas de solos de origem sedimentar, basicamente de arenito, além de um tipo conhecido como 'campos com areais', associado a depósitos superficiais arenosos com sua origem vinculada a processos fluviais e eólicos de clima semiárido.<sup>[2]</sup>

O Rio Grande do Sul tem uma extensa rede hidrográfica, subdivididos em três grandes regiões: Uruguai, que inclui a bacia hidrográfica do Rio Uruguai, à qual também pertence à bacia do Rio Negro; Litorânea; e Guaíba, cobrindo a bacia hidrográfica do Lago Guaíba. O pampa perpassa essas três regiões, mas a principal a banhá-lo é a do Uruguai, que cobre cerca de 365.000 km<sup>2</sup> – 57% do Rio Grande do Sul –, estando a maior parte desta bacia englobada pelo pampa; o principal rio desta bacia é o Rio Uruguai (Figura 1) – nome que provém do guarani antigo, significando rio dos caracóis (*uruguá* é um tipo de caracol de água doce e 'y é rio) –, o qual percorre 1770 km com um caudal médio de 5 m<sup>3</sup>/s. Em todas as três bacias, além dos rios principais, há centenas de pequenos afluentes, riachos, lagoas e lagos naturais permanentes e várias lagoas naturais sazonais, denominadas sangas, com destaque para a lagoa dos Patos, que com seus 10.144 km<sup>2</sup> é a maior laguna da América do Sul. Há, pois, bastante riqueza hídrica na região,

e não há grande diferença de vazão nas estações devido ao clima da região ser subtropical, com chuvas regulares e, em geral, bem distribuídas ao longo do ano. Ainda sobre recursos hídricos, a região comporta, em sua maior parte, o Aquífero Guarani, com afloramentos desse cruzando a parte central da região.<sup>[3]</sup>

Ao ponderar por fatores biofísicos e disponibilidade de água, verificou-se que dez sistemas ecológicos campestres distintos compõem o território do Rio Grande do Sul, com características florísticas únicas e específicas.

## Biodiversidade

Um primeiro olhar sobre o ambiente vai parecer ao observador incauto um ambiente estéril, quase um "deserto verde" e monotonamente regular em quase toda sua extensão (Figura 2). Mas tal impressão é

*“Nos últimos 36 anos o pampa foi o bioma que mais teve redução em sua vegetação nativa, perdendo 21,4% dos remanescentes registrados em 1985.”*

ilusória; na verdade, embora a partir da introdução do gado vacum nas missões jesuíticas no século XVII – conforme relatado de forma imaginária no primeiro parágrafo do presente texto – tenha mudado bastante a distribuição da flora, a região abriga aproximadamente 9% da biodiversidade brasileira em uma área pouco maior do que 2% das terras do Brasil, com poucas espécies restritas a uma ecorregião de campos num clima de transição. Um amplo esforço colaborativo identificou um número de espécies no Pampa acima do registrado (12.503 espécies), sendo 3.642 espécies de plantas vasculares (incluindo 165 Pteridófitas), 2.046 espécies de algas, 316 espécies de briófitas, 1.141 espécies de fungos (incluindo os fungos liquenizados) e 5.358 espécies de animais (vertebrados 1.136 e invertebrados 4.222 espécies). Ampliar o conhecimento acerca da biodiversidade do bioma é urgente, uma vez que a ignorância faz vítimas em todos os estratos de vida.

De fato, a introdução do gado vacum modificou bastante a cobertura vegetal da região, mesmo nas áreas ainda cobertas por gramíneas nativas, tais como o capim-melador-rasteiro (*Paspalum pauciliatum*), capim-caninha (*Andropogon lateralis*), capim-rabo-de-lagarto (*Mnesithea*



**Figura 2. A aparência de “deserto verde” esconde uma grande biodiversidade.**  
(Imagem: Fernando Marino, Licença CC BY-SA 3.0 Deed. Reprodução.)

*selloana*) ou a leguminosa pega-pega (*Desmodium incanum*) – todos usados na alimentação do gado – pois embora tais plantas sejam naturais da região, originalmente dividiam seu espaço com grandes áreas arborizadas – conforme relatam viajantes como [Debret](#) ainda no século 19 – as quais estão atualmente retidas a poucas manchas florestais.

A vegetação, entretanto, não é uniforme, e além de regiões fitoecológicas de florestas e de campos, observam-se áreas de transição ecológica e de formações pioneiras, onde as pastagens predominam.

A diversidade biológica do bioma pampa, entretanto, não se restringe à sua flora, sua fauna vai muito além da raposa-do-pampa ou do joão-de-barro com os quais começamos o texto. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística ([IBGE](#)), a região conta com 74 espécies de mamíferos, 120 de aves, 97 répteis, 18 peixes e um sem número de invertebrados. Em alguns casos, essa diversidade animal é comum a outras regiões do país; em outros, assemelha-se muito mais às faunas vistas na Argentina e Uruguai, havendo ainda casos de espécies endêmicas, tais como o simpático roedor tuco-tuco (*Ctenomys flamarioni*) das dunas do litoral ou o sapinho-de-barriga-vermelha (*Melanophryniscus atroluteus*) encontrado por toda a extensão do pampa.

## Questões ambientais

A biodiversidade pampeana tem sofrido severas perdas graças tanto à [destruição de habitats](#) quanto à contaminação de recursos hídricos pelas lavouras; com tudo isso, nos últimos 36 anos o pampa foi o bioma que mais teve redução em sua vegetação nativa, perdendo 21,4% dos remanescentes registrados em 1985.

Outro fator também premente para a viabilidade e sobrevivência do Pampa é o uso sustentável do solo. Conforme dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária ([Embrapa](#)), o solo da região Norte do Rio Grande do Sul, por exemplo, está altamente suscetível e vulnerável à erosão hídrica, causada principalmente pela chuva.

Já nos campos com areais do sudeste do estado, como a bacia do Rio Ibicuí e partes dos municípios de Quaraí e Alegrete, ocorre o fenômeno da [arenização](#) (Figura 3), cuja formação é natural, embora estejam sendo ampliados principalmente pela destruição da vegetação nativa devido ao uso intensivo, como superpastejo e queimadas, provocando alterações no ciclo natural do ecossistema. Isso resulta na perda de produção de biomassa e na degradação da comunidade animal, incluindo seres humanos, que habitam a área. É importante notar que a vegetação nessas áreas já é naturalmente frágil. Além disso, os solos com textura arenosa e silto-arenosa possuem baixo pH, altos níveis de alumínio e são deficientes em fósforo, potássio e nitrogênio, impondo restrições significativas à comunidade vegetal dessas áreas. Esse uso intensivo ocorre em grande parte por, desde a colonização ibérica, a pecuária extensiva ter se constituído na principal atividade econômica da região, o que acarreta, além do sobreuso, na introdução de pastagens com espécies exóticas, o que leva a uma rápida degradação das pastagens naturais do bioma. A isso soma-se a progressiva introdução e expansão de monoculturas, em especial de arroz e soja.<sup>[4]</sup>

Efetivamente, conhecer o solo e ajustar o uso ao seu potencial biofísico natural é a principal proposta para alcançar a sustentabilidade, o que proporcionará menor dependência de fontes externas de energia e água para garantir uma produção equivalente. A ampla veiculação de informações desta magnitude poderá estabelecer um diálogo entre conservacionistas e agricultores baseado no princípio da sustentabilidade a outros patamares, inclusive

ampliando a compreensão da ecologia das pastagens para melhoria da qualidade das gramíneas nativas destinadas à pecuária de corte. De fato, nas últimas décadas, a cada ano se fortalece o entendimento de gestão e científico que a ausência do manejo pecuário, a presença de vacas, bois, cavalos e ovinos trazem prejuízo aos recursos e valores objetivos da conservação.

A situação no bioma é tão grave que, das três subdivisões da estepe gaúcha propostas pelo [IBGE](#) em 1992 – arborizada, parque e gramíneo-lenhosa –, sobram cada vez menos áreas arborizadas e parque, e mesmo a área gramíneo-lenhosa tem sofrido desequilíbrio com predomínio das gramíneas visando a alimentação pastoril.

*“A situação no bioma é tão grave que, das três subdivisões da estepe gaúcha propostas pelo IBGE em 1992 – arborizada, parque e gramíneo-lenhosa – sobram cada vez menos áreas arborizadas e parques.”*

Apesar disso, o bioma possui [Unidades de Conservação](#) (UCs), embora existam muitas lacunas de conservação, relevantes experiências no comportamento da natureza frente às ações de proteção integral, e essas áreas tendem a representar um papel importante na preservação. Um estudo conduzido em 2021 em áreas de preservação permanente no pampa encontrou 210 espécies vegetais, sendo a família Poaceae a mais numerosa, seguida por Asteraceae (41), Cyperaceae (19), Fabaceae (12) e Rubiaceae (9). As áreas englobadas neste estudo estão protegidas do pastoreio extensivo e do cultivo de plantas importadas de outros ambientes ou países, tais como o eucalipto australiano – introduzido o Estado em 1868 pelo diplomata e estadista brasileiro Joaquim Francisco de Assis Brasil – ou o africano capim-annoni 2 – cuja introdução no Estado é incerta, mas foi notado pela primeira vez nos anos 1950. Espera-se, conforme determinação da legislação federal ([Lei 9.985/2000](#)), que os ecossistemas protegidos recebam a mínima interferência humana, sendo vedado o uso direto dos recursos naturais. Em contraponto a esse contexto das UCs de Proteção Integral, nas experiências das de Uso



**Figura 3. Área de arenização na região da Campanha, oeste da pampa gaúcha.**  
(Imagem: Maurício Scherer)

Sustentável e nas propriedades privadas que ainda mantém remanescentes de vegetação nativa campestre, áreas onde ocorrem atividade pastoril, a fisionomia e diversidade de espécies campestres características do Pampa estão se mantendo.

Um excelente exemplo de áreas de conservação no bioma é a [Estação Ecológica do Taim](#) (ESEC Taim), que abrange aproximadamente 30% de seu território no município de Rio Grande e 70% no município de Santa Vitória do Palmar. Ela está localizada em uma estreita faixa de terra entre o Oceano Atlântico e a Lagoa Mirim, e possui áreas de grande importância no contexto ambiental do extremo sul do Brasil, formadas pelos avanços e recuos do mar.

Se o Taim fica no leste do estado, o centro conta com o [Parque Estadual do Podocarpus](#), uma Unidade de Conservação de Proteção Integral com 3.645 ha de área, localizada no bioma Pampa, no município de Encruzilhada do Sul. A criação desse parque teve como principal objetivo proteger áreas de mata onde está presente o pinheiro-bravo (*Podocarpus lambertii*), na região da Serra do Sudeste.

Já no oeste, temos como exemplo o [Parque do Espinilho](#), no município de Barra do Quaraí. Esse parque engloba áreas importantes para a conservação e desempenha um papel significativo na preservação de uma formação vegetal que é exclusiva da região (savana estepe e savana parque), a qual abriga espécies características como o espinilho ([Acacia caven](#)), o algarrobo ([Prosopis nigra](#)) e o

inhanduvai (*Prosopis affinis*). Além dessa vegetação singular, diversas espécies da fauna têm uma ligação com essa formação e dependem do Parque para a conservação de suas populações.

Atualmente temos onze desses “santuários” distribuídos pelo bioma – sete exclusivos, quatro dividindo espaço com o bioma mata atlântica – um número pequeno, ainda mais se pensarmos que, embora abranja mais de 60% do território gaúcho, o bioma possui apenas 29,17% do total de áreas de preservação – além de dividir outros 16,66% com a mata atlântica. Isso se torna ainda mais grave quando se pensa que o bioma é o que tem menor representatividade no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), representando somente 0,4% da área continental brasileira protegida por unidades de conservação. A criação de unidades de conservação, a recuperação de áreas degradadas e a criação de mosaicos e corredores ecológicos foram identificadas como as ações prioritárias para a conservação, juntamente com a fiscalização e o desenvolvimento econômico e social.

Há, pois, a necessidade de fomentar políticas públicas e novos estudos que realmente promovam a biodiversidade como uma das metas prioritárias do Estado, suplantando de vez a invisibilidade do Pampa ou a ideia de que ele já foi extinto. Levantamentos como este são imprescindíveis, pois trazem à tona uma discussão apontada por muitos relatórios desde a emergência da covid-19 quanto ao risco da exposição humana a agentes potencialmente zoonóticos associados à perda da biodiversidade.

## A cultura

O extremo sul do Brasil começou a ser colonizado por europeus bem após regiões como o Nordeste e o Centro-Oeste; tal se deu no século 17, de maneira aproximada ao que vimos no primeiro parágrafo do presente texto, principiando com Hernandarias trazendo gado da região de Buenos Aires e atravessando o Rio Uruguai, que hoje divide Brasil e Argentina na altura do Rio Grande do Sul. Chegando aqui, o colonizador deparou-se com etnias indígenas tais como Guarani, Caingangue, Minuano e Charrua. Ao final do mesmo século, os jesuítas constroem, no que hoje é o território gaúcho, a primeira das sete missões que ali instalariam: São Francisco de Borja, no que hoje é a cidade de São Borja. Tais missões se constituíram em verdadeiras

idades de indígenas – em especial guaranis – sob o domínio jesuítico. Mas a política desenvolvida a milhares de quilômetros de distância entre Portugal e Espanha selou o destino de tais missões na metade do século XVIII. Quando tais missões foram destruídas já haviam aqui os primeiros afrodescendentes escravizados.<sup>[5]</sup>

Nesses ermos fartos de gramíneas e escasso de gentes – a ponto do escritor gaúcho Barbosa Lessa cognominá-lo “País da Solidão”<sup>[6]</sup> – nasce um novo elemento, o gaúcho (do quéchua *huachu*, órfão ou vagabundo) (Figura 4),

*“A criação de unidades de conservação, a recuperação de áreas degradadas e a criação de mosaicos e corredores ecológicos foram identificadas como as ações prioritárias para a conservação, juntamente com a fiscalização e o desenvolvimento econômico e social.”*

miscigenado e afeito às lonjuras e à selvageria do ambiente despovoado, começando aí a exploração extensiva do gado, primeiro selvagem, então chamado “chimarrão” – do espanhol *cimarrón*, o mesmo nome da [infusão de erva-mate \(\*Ilex paraguariensis\*\)](#) em uma cabaça, sorvida por um canudo de taquara ou metal, herdado do indígena e até hoje extremamente popular em toda região.

Entre os séculos 19 e começo do século 20, influenciado por uma visão eugenista, o Brasil cria uma política de “branqueamento” da população,<sup>[7]</sup> e assim chegam ao pampa imigrantes europeus, [principalmente alemães e italianos](#), o que acaba por tornar o Rio Grande do Sul um dos estados mais etnicamente europeus do país. Entretanto, apesar haver áreas no estado onde há o predomínio da cultura europeia, não é correto desconsiderar a presença das origens indígena e negra na constituição do gaúcho, principalmente no pampa, a exemplo do já citado chimarrão – também chamado “mate” – de origem Guarani, do [churrasco gaúcho](#) de origem Charrua, ou de festividades como o [Carnaval](#), de origem africana ou festivais de música regionalista como a [Califórnia da Canção de Uruguaiana](#).



**Figura 4. O gaúcho, tipo característico do pampa brasileiro, argentino e uruguaio. Na imagem, gaúchos no município de Alegrete/RS, com roupas de trabalho.** (Imagem: Gauchoguy - Licença CC BY 3.0 Deed. Reprodução.)

É equivocado, entretanto, pensar no pampa como uma cultura única, com vocabulário unificado e hábitos e costumes idênticos. Dentro da própria cultura regional há [subculturas](#), com regiões, por exemplo, de fala mais próxima ao açoriano, como nas regiões próximas a Porto Alegre, ou com uma mistura das línguas dos povos originários e de termos espanhóis com o português, como na região da Fronteira Oeste.

Em suma, a riqueza do pampa, seja como bioma, seja enquanto ambiente cultural, é vasta e diversa, muito maior do que poderia imaginar qualquer raposa-dos-pampas ou João-de-Barro em uma tarde de sol primaveril.

**Fabiane Moreira Farias** é farmacêutica, doutora em Ciências Farmacêuticas pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Professora Associada na Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Uruguaiana (RS), atuando nos cursos de Farmácia, Enfermagem e Fisioterapia, e membro do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas (PPGCF-UNIPAMPA).

**Carlos Augusto Riella de Melo** é acadêmico em Ciências da Natureza pela Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), campus Uruguaiana (RS), com graduação sanduíche (Brazilian Scientific Mobility Program) pela Universidade do Wisconsin, campus Oshkosh (EUA). É professor e tradutor de inglês. Autor do livro “O Homem que Enlouqueceu Nietzsche”.

**Débora da Cruz Payão Pellegrini** é médica veterinária (UFLA), mestre em Saúde Pública (ENSP/FIOCRUZ), doutora em Ciências Veterinárias (UFRGS) e professora associada na Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Uruguaiana (RS). Atua no curso de Medicina Veterinária e no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal (PPGCA).

**Heinrich Hasenack** é geógrafo, mestre em ecologia e doutor em agronegócios pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Atua como professor no Departamento de Ecologia do Instituto de Biociências e no Programa de Pós-Graduação em Agronegócios do Centro de Pesquisas em Agronegócios, ambos na UFRGS. Também participa na Iniciativa MapBiomass, onde coordena o grupo do Bioma Pampa no Brasil.

**Maurício de Freitas Scherer** é geógrafo, graduado pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), mestre em geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Atualmente é servidor público da área de proteção ambiental e conservação, atuando em gestão de Unidade de Conservação, habitante do pampa e pecuarista familiar.

## Referências

- [1] CUCHILLA. *In*:RAE - Real Academia Española. **Diccionario de la Lengua Española**. Madrid: RAE, 2020. Disponível em: <<https://dle.rae.es/?w=cuchilla>>. Acesso em: 14/set./2023.
- [2] STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. Solos do Rio Grande do Sul. 3. ed. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2018.
- [3] MACHADO, J. L. F. A redescoberta do Aquífero Guarani. **Scientific American Brasil**, e. 47, p. abr./2006.
- [4] SOUZA, P. B; SANTOS, R. C.; JOCHIMS, F. **Arenização do Bioma Pampa**. SD. TCC (Pós-Graduação Lato Sensu em MBA em Gestão Ambiental) - Instituto Educacional do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, SD.
- [5] PONT, R. **Campos Realengos (I e II)**. Porto Alegre: Edigal, 1983.
- [6] LESSA, B. **Rio Grande do Sul: prazer em conhecê-lo**. Porto Alegre: Age, 2002.
- [7] AMARAL, E. Onde estão os negros do Rio Grande do Sul? **Correio do Povo**, Porto Alegre, 20/11/2019.



Capa. O desmatamento da Amazônia, seus impactos em praticamente todo o território brasileiro e sua ligação com a expansão da agropecuária, são questões centrais para o Brasil lidar com as mudanças climáticas.

(Foto: Marcelo Camargo/ Agência Brasil. Reprodução)

---

# Biomass brasileiros e as mudanças climáticas

*Políticas de adaptação ao novo clima, consequentes e baseadas em ciência, são necessárias e urgentes.*

Paulo Artaxo

## Resumo

As mudanças climáticas estão afetando significativamente todos os biomas brasileiros. De maneira diferenciada, todos os nossos biomas, Amazônia, Cerrado, Pantanal, Pampas, Caatinga, estão sendo impactados, tanto pela ação humana de mudança do uso do solo, quanto pela mudança climática. A resiliência de cada um de nossos biomas está sendo afetada, pois eles evoluíram ao longo de milhares de anos com um clima razoavelmente estável ao longo do Holoceno. O Homem mudou isso. O desmatamento no Cerrado e Amazônia alteraram porções significativas da área destes biomas. O aumento de temperatura e mudanças no regime de precipitação, com o aumento dos eventos climáticos extremos, estão alterando as funções metabólicas que sustentam o funcionamento de nossos ecossistemas. No caso da Amazônia, que teve 19% de sua área desmatada, a degradação florestal associada ao aumento de temperatura (que em algumas regiões já atingem 2.2 graus Celsius), e à redução da precipitação (em algumas regiões de 10 a 15%) traz stress hídrico à vegetação, e altera a evapotranspiração e alocação de carbono no ecossistema. Nosso Cerrado conta com alta taxa de conversão à agricultura, e com fortes alterações no regime

impactam a fauna e flora de modo significativo. Por outro lado, o Pampa está sofrendo inundações recorrentes e nossa caatinga está mais seca e mais quente. Estas alterações climáticas estão acentuando a perda de biodiversidade, significativa em todos os biomas, embora difícil de quantificar precisamente. Temos tarefas urgentes, como implementar os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, bem como cumprir com nossos compromissos associados ao Acordo de Paris. Precisamos zerar o desmatamento da Amazônia até 2030, e implementar planos de proteção ao Cerrado e demais biomas. Em paralelo, temos também que reduzir nossas imensas desigualdades sociais, e edificar um desenvolvimento que seja realmente sustentável.

**Palavras-chave:** Biomas brasileiros; Mudanças climáticas; Amazônia; Cerrado; Pantanal; Caatinga.

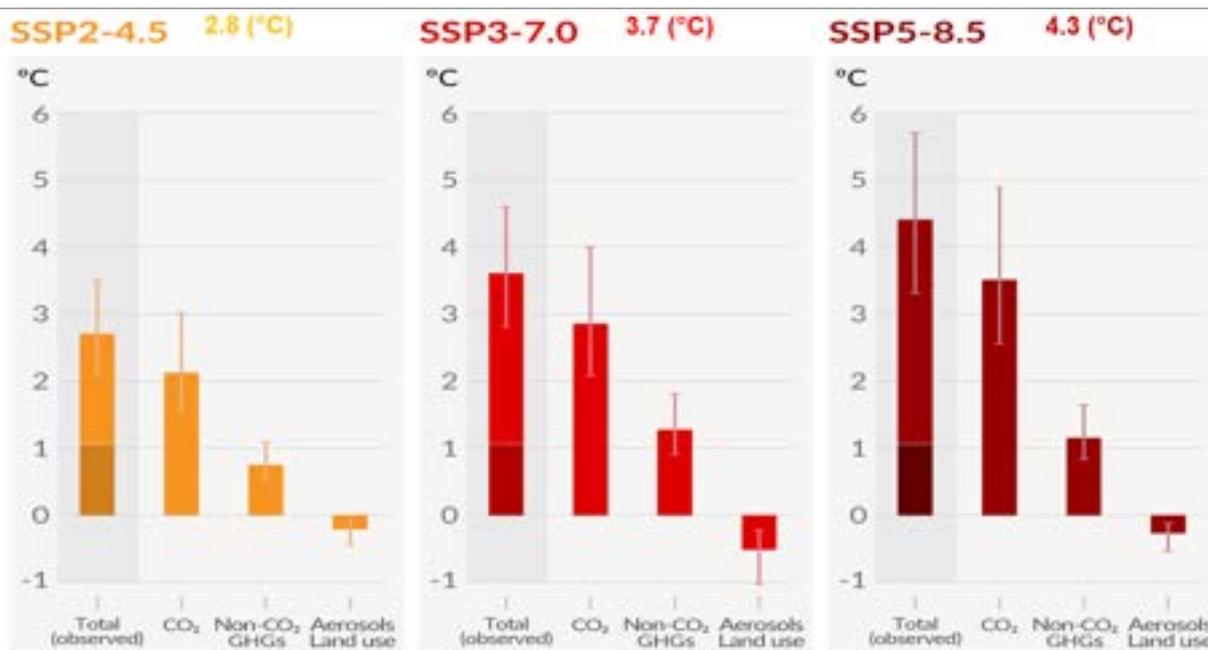
## As mudanças climáticas

As mudanças climáticas certamente são uma das maiores ameaças à nossa sociedade e ao planeta,<sup>[1]</sup> com importantes impactos em todos os ecossistemas brasileiros. As atividades econômicas (principalmente produção de combustíveis fósseis e desmatamento de florestas tropicais) são responsáveis pela emissão anual de 62 bilhões de toneladas de gases de efeito estufa anualmente. Essas emissões têm crescido nas últimas décadas a taxas anuais da ordem de 2% a 4%.<sup>[2]</sup> Esse aumento da concentração de gases de efeito estufa é o responsável pela maior retenção de energia na atmosfera, o que eleva a temperatura planetária. Até o momento, já temos um aumento médio de temperatura de 1.2 graus Celsius ao longo dos últimos 100 anos. Esse aumento de temperatura não é homogêneo, com algumas regiões, como o vale do Rio São Francisco e a região Leste da Amazônia, já se aquecendo em cerca de 2.3 graus Celsius. Também estamos observando fortes alterações no regime de chuvas, com redução na precipitação média da ordem de 20% no Nordeste brasileiro, e de cerca de 15% na região Leste da Amazônia. Globalmente, o nível do mar já subiu 24 centímetros nos últimos 100 anos, mas com variabilidades regionais importantes, com o Nordeste brasileiro sendo uma região muito vulnerável ao aumento do nível do mar. Uma das faces mais visíveis das mudanças climáticas é o aumento da frequência e da intensidade dos chamados eventos climáticos extremos, como chuvas muito fortes, ondas de calor e secas prolongadas. No início de 2023, observamos chuvas intensas atingirem o litoral do estado de São Paulo, causando destruição e mortes, particularmente para a população mais vulnerável. Em 2022 vimos também fortes cheias na Bahia e Minas Gerais. E uma seca muito forte e

prolongada no Brasil Central afetou a produção agrícola e a geração de hidroeletricidade em 2021 e 2022. Uma estiagem forte no Rio Grande do Sul em 2022 também prejudicou a produção de alimentos no estado, seguida de alagamentos importantes em 2023.

A queima de combustíveis fósseis (gasolina, diesel, carvão, gás natural, etc.) é responsável por 80% das emissões globais de gases de efeito estufa, enquanto o desmatamento de florestas tropicais como a Amazônia é responsável por cerca de 20% das emissões globais. A continuar as atuais emissões, a temperatura média do planeta pode aumentar em cerca de 3 graus ao longo deste século.

*“Já temos um aumento médio de temperatura de 1.2 graus Celsius ao longo dos últimos 100 anos.”*



**Figura 1. Aumento médio previsto na temperatura do nosso planeta de acordo com 3 cenários de emissões de gases de efeito estufa.**

(Fonte: Relatório IPCC WG1 AR6, 2022,<sup>[2]</sup>)

Nas regiões continentais, como o Brasil, este aumento médio de 3 graus se converte em aumento regional de 4 a 4.5 graus Celsius. A Organização Meteorológica Mundial (OMM), o Sistema Copernicus da Comunidade Europeia e a agência atmosférica dos Estados Unidos (NOAA) declararam que 2023 é o ano mais quente dos últimos 125.000 anos. Tal aumento intenso e rápido de temperatura tem forte impacto no funcionamento de todos os ecossistemas terrestres e marinhos.

De acordo com cenários diferentes de emissões ao longo das próximas décadas, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) do ONU, faz previsões de aumento médio de

temperatura do planeta de 2.8 a 4.3 graus Celsius. (Figura 1).<sup>[2]</sup> O cenário mais favorável (SSP2-4.5) implica no atingimento das metas do Acordo de Paris por todos os países. O cenário de altas emissões (SSP5-8.5) implica a continuidade das emissões atuais, sem fortes políticas de reduções de emissões.

A Figura 2 apresenta a distribuição geográfica do aumento de temperatura desde 1750, para um aquecimento médio de 4 graus no planeta como um todo.<sup>[2]</sup> Observamos uma forte variabilidade espacial, com os continentes se aquecendo 1 a 1.5 graus a mais que a média global. O Brasil, em particular, pode se aquecer de 5 a 5.5 graus, dependendo da região, o que trará enorme impacto no funcionamento dos ecossistemas.

Outra mudança importante no clima refere-se à precipitação, onde o Brasil Central, Amazônia e Nordeste poderão ter redução importante de chuva, enquanto o sul do Brasil e norte da Argentina pode ter aumento de precipitação. Precipitação é chave para o funcionamento dos ecossistemas.

## Integrando a proteção da biodiversidade à mitigação das mudanças climáticas

Estamos em plena era do Antropoceno, na qual o homem é um dos principais agentes transformadores.<sup>[3]</sup> O

crescimento da população humana mundial, que poderá alcançar cerca de 10 bilhões de habitantes em 2050, nos coloca frente a um dos maiores desafios do século 21: manter a provisão da qualidade ambiental e possibilitar acesso justo a recursos básicos, como água, alimentos e energia, garantindo a segurança e equidade em um cenário de mudanças climáticas e desigualdades sociais. Esta questão é bem trabalhada no último relatório do *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (IPBES),<sup>[4]</sup> que coloca o colapso dos serviços ecossistêmicos na agenda ambiental.

Os serviços ecossistêmicos englobam todos os materiais que consumimos providos pelos ecossistemas, sejam alimentos (frutos, raízes, animais, mel, vegetais), matérias-primas para construção e combustível (madeira, biomassa, óleos de plantas), água potável (qualidade e quantidade) e recursos genéticos, entre outros. A resiliência dos ecossistemas e sua capacidade de reagir a mudanças estão sujeitos, em grande parte, à sua biodiversidade.

As alterações observadas na temperatura e na chuva já estão impactando o funcionamento dos ecossistemas em praticamente todas as regiões do nosso planeta. Mudanças climáticas podem, por exemplo, levar a desencontros entre a época da floração e a atividade dos polinizadores, afetando a produtividade de culturas e de ecossistemas naturais, com consequências ainda imprevisíveis para a manutenção da biodiversidade e da produção de alimentos. Também perturbam os padrões ecossistêmicos da fotossíntese e da produtividade, podendo modificar os ciclos hidrológicos e a dinâmica do ciclo do carbono.

Os efeitos sinérgicos da mudança do uso da terra, incluindo a fragmentação e redução de vegetação nativa e mudanças do clima, podem aumentar a ação de pragas, reduzindo os polinizadores e exigindo medidas de mitigação ou adaptação para garantir a produtividade de muitas culturas alimentares no Brasil e ao redor do mundo. A vulnerabilidade da nossa biota e ecossistemas aumenta significativamente e conseqüentemente reduz a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos associados, vitais para nosso país.

Na Amazônia, o aumento da produção de biomassa, aceleração do ciclo de vida das árvores, alterações na distribuição e abundância de espécies estão entre as mudanças relacionadas ao efeito fisiológico da elevação de

CO<sub>2</sub> atmosférico, que são também influenciadas pela disponibilidade de nutrientes nos solos, em particular o fósforo. Em nossa vasta plataforma continental oceânica, nosso conhecimento é ainda mais restrito em decorrência da falta de programas de monitoramento, e das especificidades dos estudos nesse ambiente. No ambiente marinho, o aquecimento dos oceanos (que atingiu em média 1 grau Celsius) tem promovido a migração de espécies e estoques pesqueiros para maiores latitudes.

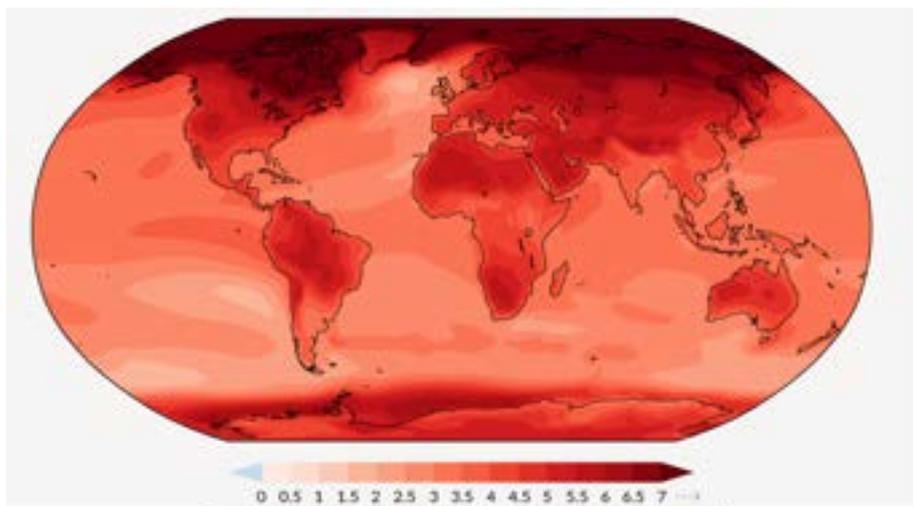
Para melhorar a detecção e atribuição dos efeitos das mudanças climáticas na biodiversidade e ecossistemas brasileiros, é fundamental melhorar nosso entendimento dos serviços ecossistêmicos relacionados, e analisar possíveis respostas a cenários futuros de

*“Uma das faces mais visíveis das mudanças climáticas é o aumento da frequência e da intensidade dos chamados eventos climáticos extremos, como chuvas muito fortes, ondas de calor e secas prolongadas.”*

aquecimento, prevendo e sugerindo medidas de mitigação e adaptação e procedimentos de remediação.

## Mudanças de uso do solo e impactos nos ecossistemas

Por uma série de razões, a Amazônia é uma região estratégica para o planeta e para o Brasil.<sup>[3, 5]</sup> Contempla a maior floresta tropical do mundo, com uma área aproximada de 6,7 milhões de km<sup>2</sup>, dos quais 5.5 milhões de km<sup>2</sup> estão em território brasileiro; sua bacia hidrográfica é o maior sistema fluvial do planeta, e a floresta está distribuída entre nove países (Brasil, Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana Francesa, Guiana, Peru, Suriname e Venezuela). A Amazônia também hospeda uma gigantesca e complexa biodiversidade. Desenha papel fundamental na provisão de produtos e serviços ambientais, no ciclo do carbono e na regulação do clima. É o maior reservatório de carbono em regiões continentais, contendo cerca de 120 bilhões de toneladas de carbono, ou o equivalente a 10 anos de toda a queima de combustíveis fósseis. Presta serviços ecossistêmicos essenciais para a sociedade e a economia brasileira. Tem uma vasta população



**Figura 2. Distribuição geográfica do aumento de temperatura ao longo deste século, para um aquecimento médio de 4 graus no planeta como um todo. Observamos que o Brasil pode ter um aumento de temperatura de 5.0 a 5.5 graus Celsius**

(Fonte: Relatório IPCC WG1 AR6, 2022,<sup>[2]</sup>)

tradicional e indígena, detentora de ativos de valores inestimáveis como conhecimento, línguas e cultura nos povos indígenas e comunidades tradicionais.<sup>[6]</sup>

A questão do desmatamento da Amazônia, seus impactos em praticamente todo o território brasileiro e sua ligação com a expansão da agropecuária são questões centrais para o Brasil. A **Figura 3** apresenta as taxas anuais de desmatamento da floresta amazônica, produzidas pelo sistema de monitoramento PRODES (Programa de Desmatamento) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no período de 1977 a 2023. Observamos a forte redução na taxa de desmatamento de 2003 a 2011, na época de grande expansão da atividade agropecuária, mostrando que as duas questões não estão diretamente interligadas.

É consenso, para a ciência, que a preservação da floresta é fundamental para a sustentabilidade do planeta.<sup>[7]</sup> O bioma amazônico é rico em diversidade cultural, linguística, biológica e geológica, e investimentos em ciência, tecnologia e inovação, em pesquisas básicas e aplicadas, são estratégicos para a sua compreensão e sustentabilidade. No entanto, apesar de ser caracterizada como a região que hospeda a maior biodiversidade natural do país, o seu desenvolvimento socioeconômico em torno de atividades relacionadas à floresta ainda não alcançou escala de projeção em todo o seu potencial. Há um gigantesco desafio no âmbito da regularização fundiária, e faltam planos concretos de crescimento econômico inclusivo e sustentável. O sistema [MapBiomias](#) de mapeamento da

cobertura do solo de nosso país é um excelente exemplo de esforços em tornar transparente e com fácil acesso à sociedade o impacto das mudanças do uso do solo para todo o território nacional.

## A adaptação do Brasil ao novo clima

A localização tropical, a estrutura socioeconômica fortemente dependente do regime de chuvas, as inadequações urbanísticas e enormes desigualdades sociais fazem do Brasil um país singular, ambientalmente falando. No contexto das mudanças climáticas, esforços de adaptação podem gerar vários benefícios adicionais, como melhoria da produtividade agrícola, inovação, saúde e bem-estar, segurança alimentar, conservação da biodiversidade, bem como redução de riscos e danos.

As ações de adaptação climática – compreendida como processos de ajustamentos para antecipar impactos adversos das mudanças climáticas que resultam na redução da vulnerabilidade – tendem a ser mais facilmente implementadas e organizadas quando buscam sinergias com políticas, recursos e outras medidas já existentes, incluindo ações visando à sustentabilidade, qualidade de vida e melhoria de infraestrutura.

O Brasil tem um plano de adaptação climática (PNA), lançado em 2016, que visa orientar iniciativas para gestão e redução dos riscos provenientes dos efeitos adversos das mudanças climáticas no médio e nos longos prazos, nas dimensões social, econômica e ambiental. Todavia, até o momento, um planejamento de longo prazo voltado à adaptação climática ainda não ganhou projeção no país como um todo. Entre as razões para esse atraso estão a própria complexidade envolvida na adaptação, as limitações econômicas, institucionais e políticas e, em particular nas cidades, as relações de interdependência entre mudanças do clima, dinâmicas do planejamento urbano e questões políticas. Recentemente, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e o INPE lançaram a plataforma Adapta Brasil, que sugere uma série de políticas públicas a serem implementadas.

Embora melhorias nos níveis de renda, educação, saúde e outros indicadores socioeconômicos sejam importantes para reduzir a vulnerabilidade às mudanças do clima em geral, considerando o conjunto de riscos

específicos que as alterações climáticas representam em particular para as cidades (por exemplo, inundações, secas, aumento do nível do mar, ilhas de calor), há também uma necessidade urgente de considerar as capacidades específicas necessárias para superar e se recuperar desses estressores, incluindo, por exemplo, mapeamentos de áreas de risco, sistemas de alerta precoce e planejamento de enfrentamento a desastres naturais.

A falta de dados e informações úteis e utilizáveis, que possam ser mobilizados para subsidiar gestão, planejamento e governança, é frequentemente identificada como uma das principais barreiras para o avanço da adaptação às mudanças

*“No contexto das mudanças climáticas, esforços de adaptação podem gerar vários benefícios adicionais, como melhoria da produtividade agrícola, inovação, saúde e bem-estar, segurança alimentar, conservação da biodiversidade, bem como redução de riscos e danos.”*

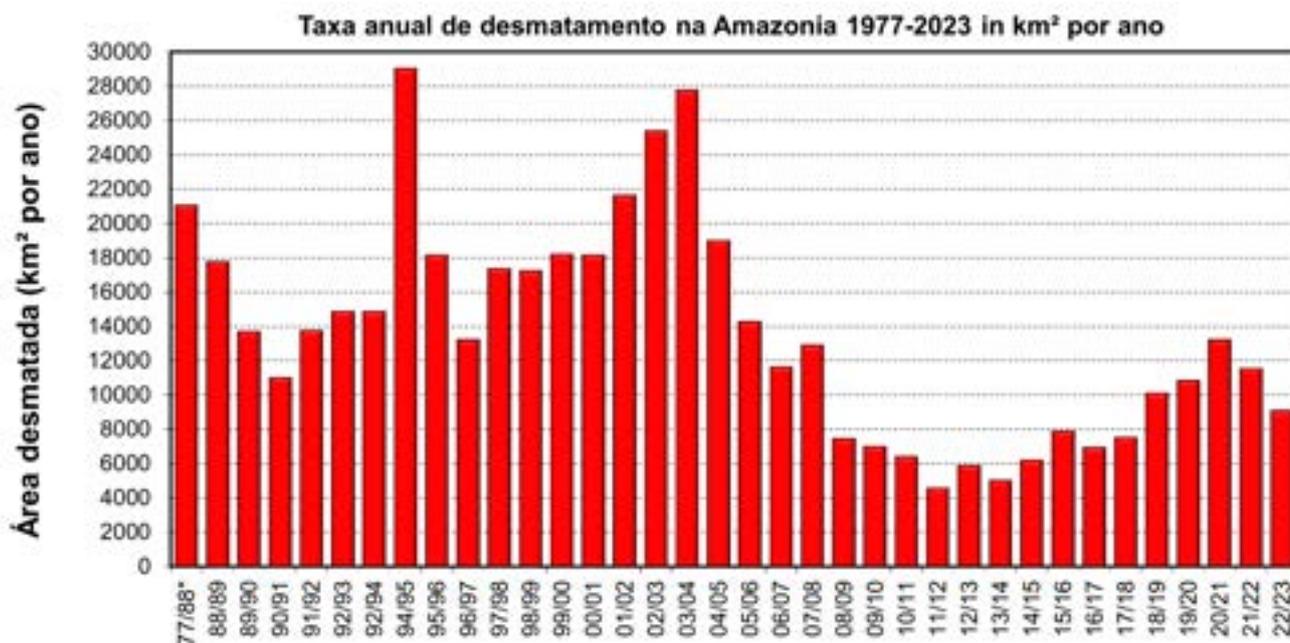


Figura 3. Taxas anuais de desmatamento da floresta amazônica, produzidas pelo sistema de monitoramento PRODES do INPE, de 1997 a 2023. Nota-se a redução na taxa de desmatamento anual em 2022 e 2023 comparada com 2021. (Fonte: PRODES/ INPE)

climáticas, traduzindo-se em paralisia e inação por parte dos tomadores de decisão. Nesse contexto, tão importante quanto a capacidade de produzir informação técnico-científica que seja facilmente convertida em estratégias, políticas e ações de adaptação, é promover maior envolvimento dos usuários da informação (os atores institucionais, por exemplo) na produção e circulação do conhecimento. A produção e disponibilização desses dados, que incluam métricas robustas e possam ser atualizados periodicamente e que estejam conectados às especificidades da realidade brasileira, considerando um conjunto de variáveis que refletem na capacidade adaptativa, podem impulsionar ações e

políticas públicas de adaptação.

Nesse cenário, as pesquisas também devem buscar compreender melhor as respostas sociais e individuais às mudanças climáticas, levando em conta que os governos, embora cumpram papel importante no planejamento efetivo de adaptação, não são capazes, sozinhos, de resolver a crise climática dada sua complexidade e multidimensionalidade.<sup>18</sup>

<sup>91</sup> Ademais, é preciso entender que adaptação requer parcerias, alianças estratégicas e outras formas de colaboração entre diferentes setores e organizações. Pesquisas sobre as melhores estratégias de adaptação são essenciais, pois estas, em geral, envolvem soluções locais ou regionais.

## Considerações finais

É possível reverter os impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas brasileiros? Infelizmente a resposta a esta importante pergunta é não. Com as atuais emissões de gases de efeito estufa, o planeta está em uma trajetória de aumento médio de temperatura de 3 graus Celsius. Nos últimos 100 anos, já observamos um aumento de 1.2 graus, e devemos atingir 1.5 graus nesta década, segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM). Portanto, nossa sociedade vai viver um aumento importante de temperatura, conjugado com aumento da frequência e

intensidade dos eventos climáticos extremos e de alterações fortes no padrão da precipitação na maior parte do país.

Precisamos urgentemente de políticas de adaptação ao novo clima que sejam consequentes e baseadas em Ciência. É importante sempre salientar que a população de mais baixa renda é a que mais sofre os impactos da mudança climática, seja nos eventos climáticos extremos, no aumento dos preços dos alimentos, nas dificuldades de acesso à água, e outros impactos importantes.

Do mesmo modo, é importante enfatizar que o IPCC coloca que temos todas as tecnologias necessárias para reduzir pela metade as emissões de gases de efeito estufa. O custo da produção de energia através de energia solar e eólica é menor hoje do que queimar petróleo, gás natural ou carvão. E por que a transição energética não ocorre? Os governos dos 196 países da ONU são essencialmente controlados pela indústria de energia, do petróleo e atividades relacionadas, tais como produção de automóveis, infraestrutura industrial, etc.

É essencial que o Brasil aproveite suas vantagens estratégicas na questão das mudanças climáticas. Cerca de 50% de nossas emissões de gases de efeito estufa estão associados ao desmatamento da Amazônia. Nenhum outro país de nosso planeta pode reduzir suas emissões em 50% muito rapidamente e com pouquíssimo custo, além de receber com isso muitos co-benefícios ambientais e econômicos. O Brasil tem o maior programa de biocombustíveis do mundo. Temos também o maior potencial mundial de geração solar e eólica do planeta.

Mas, o Brasil também tem suas vulnerabilidades. Temos uma economia baseada no agronegócio, que é sensível à chuva e ao clima. Nossa geração de hidroeletricidade depende da chuva. O Nordeste brasileiro está em processo de desertificação, e pode ser uma região onde atividades econômicas sejam difíceis daqui a algumas décadas. Também temos 8.500 km de áreas costeiras que são vulneráveis ao aumento do nível do mar, e muitas cidades na costa que podem sofrer impactos significativos enquanto o mar avança.

As mudanças climáticas que já ocorreram são irreversíveis em escala de tempo de alguns milhares de anos, pois o tempo de permanência na atmosfera dos gases de efeito estufa pode ser medidos em séculos ou milênios. O único processo conhecido de remover dióxido de carbono

da atmosfera na escala necessária é a fotossíntese. Mas, plantar árvores na escala necessária para reverter as emissões já feitas não é algo viável ou possível.

Aumentar a resiliência socioambiental é muito importante. Para além do potencial impacto nos ecossistemas e em nossa sociedade, as mudanças climáticas podem ser vistas como uma oportunidade para transformações socioeconômicas significativas e para agilizar o desenvolvimento em diversos setores, incluindo indústria, agronegócio, sistemas de energia, transportes, etc., buscando a transição para uma sociedade mais sustentável.

As mudanças do clima já estão causando impactos significativos em todos os cantos do globo, mas são a oportunidade de refazer a estrutura socioeconômica de nosso planeta. É claro que o atual modelo de desenvolvimento socioeconômico que temos é insustentável. As desigualdades socioeconômicas e o modelo de exploração predatória da natureza associada a nosso sistema estão levando a destruição de nossa sociedade. Vamos trabalhar para que os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis

(ODS) (Figura 4) sejam o guia para a construção de uma nova sociedade, com menores desigualdades sociais e mais sustentável.

Temos como tarefa auxiliar o país a desenvolver estratégias baseadas em ciência para que o Brasil cumpra suas obrigações internacionais (as *National Determined Contribution* - NDC) associadas ao Acordo de Paris. O auxílio na formulação de políticas públicas baseadas em ciência em todos os níveis (municipal, estadual, nacional e global) é tarefa fundamental. Estas atividades exigirão grande esforço científico da academia em parceria com os vários setores da sociedade. A adaptação às mudanças climáticas nas diversas regiões do nosso país também requererá o desenvolvimento de ciência olhando para as necessidades da sociedade. Os desafios envolvidos na redução do impacto das ações humanas no ambiente, alinhados à necessidade do desenvolvimento sustentável e redução de desigualdades sociais, passam pelo desenvolvimento de sólidos resultados científicos.<sup>[9]</sup>

Levando em conta as questões científicas, de governança, finanças, e novas tecnologias, poderemos construir um futuro mais resiliente, sustentável e justo, preservando os serviços



**Figura 4. Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) estruturados na Agenda 2030, que são um guia para a construção de uma nova sociedade, mais sustentável, e com menores desigualdades sociais.**  
(Fonte: ONU. Reprodução)

ecossistêmicos através de estratégias adequadas de adaptação e mitigação de emissões.<sup>[8]</sup> Este processo está associado aos ODS, já que temos que atender às necessidades básicas da população (educação, saúde, igualdade de gênero, erradicação da pobreza, fome zero, água limpa e outros), e, ao mesmo tempo, respeitar os limites da disponibilidade dos recursos naturais de nosso planeta. Essas são somente algumas das importantes questões que o Brasil terá que enfrentar, e soluções baseadas em ciência sólida certamente têm mais chances de garantir uma trajetória sustentável a nosso país.

**Paulo Artaxo** é professor do Departamento de Física Aplicada do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP). É membro titular da Academia Mundial de Ciências (TWAS), do INCT Mudanças Climáticas, do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) e vice-presidente da SBPC. É coordenador do Centro de Estudos Amazônia Sustentável da Universidade de São Paulo (CEAS-USP).

## Referências

- [1] Artaxo, P., As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. *Estudos Avançados*, vol. 34, número 100, Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo 2020. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.34100.005>.
- [2] IPCC AR6 WGI (2021). V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
- [3] Artaxo, P. Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno? *Revista USP*, número 103, page. 8-12, 2014. <http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/99279>.
- [4] IPBES 2019 - Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services – IPBES. (2019). *Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES. <https://ipbes.net/>.
- [5] Artaxo P., Hansson H. C., Machado L.A. T., Rizzo L. V. (2022a) Tropical forests are crucial in regulating the climate on Earth. *PLOS Climate* 1(8): e0000054. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000054>, 2022.
- [6] Artaxo, P., Hansson, H-C, et al., 2022b. Tropical and Boreal Forest – Atmosphere Interactions: A Review. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 74 (2022), 24–163. DOI: <https://doi.org/10.16993/tellusb.34>.
- [7] SPA 2021 - SPA - The Amazon we want. Science Panel for the Amazon. Executive Summary of the Amazon Assessment Report 2021 (48 p.). *The Amazon we Want*. United Nations Sustainable Development Solutions Network. DOI: 10.55161/RWSX6527, ISBN 9781734808001. <https://www.theamazonwewant.org>. 2021.
- [8] Artaxo, P., Break down boundaries in climate research. *World View Section, Nature* 481, 239, 2012.
- [9] Artaxo, P., Working together for Amazonia. *Editorial Science Magazine*, Vol. 363, Issue 6425, doi: 10.1126/science.aaw6986, January 2019.



O desmatamento na Caatinga está gerando processos de desertificação em diversas áreas, alterando diretamente a biota, o microclima e os solos.

(Foto: [CesarCoelho667](#). Reprodução)

# Desertificação no Brasil

*A exploração não planejada dos recursos naturais e as mudanças climáticas acarretam danos irreversíveis ao meio ambiente*

Suzana Gico Montenegro

## Resumo

A desertificação consiste em um processo que pode ser desencadeado de forma natural por intempéries do clima e de forma antrópica, devido ao manejo inadequado do solo. O desmatamento elevado no bioma Caatinga vem gerando processos de desertificação em diversas áreas no Brasil. O presente artigo aborda de forma sintética as questões relacionadas à ocorrência da desertificação no Brasil. Existe um grande número de publicações a respeito do tema, tanto em português como em outras línguas. Esse artigo visa apresentar uma síntese dos principais aspectos relacionados a fatores intervenientes, áreas susceptíveis, pesquisas de acompanhamento e relacionadas aos efeitos das mudanças climáticas nas alterações fenológicas da caatinga, bem como políticas públicas centradas na adoção de medidas e ações que visem a mitigação dos efeitos da desertificação no país. Recentemente, novos estudos demonstraram a expansão de áreas semiáridas no Brasil nas últimas décadas, com o primeiro registro de regiões áridas, com Índice de Aridez (IA) inferior a 0,20 – ocorrência até então nunca detectada. Essas novas descobertas, aliadas à vulnerabilidade histórica do Brasil a processos de desertificação, especialmente no Nordeste, colocam em evidência a necessidade de tratar o tema de forma mais direcionada, com foco em ações e políticas públicas que objetivem mitigar os efeitos do fenômeno, que tende a se intensificar frente ao atual cenário de mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** Caatinga; Mudanças climáticas; Seca; Políticas públicas.

## Processo e ocorrência

A desertificação consiste em um processo que pode ser desencadeado de forma natural por intempéries do clima e de forma antrópica, devido ao manejo inadequado do solo.

A variabilidade e mudança do clima ocorrem em qualquer região e o impacto nos recursos hídricos pode ser grave, principalmente quando o resultado é um déficit de longo prazo.<sup>[1]</sup> A exploração não planejada dos recursos naturais associada às intempéries do clima pode acarretar danos irreversíveis ao meio ambiente, como o desencadeamento de processos de desertificação.

A desertificação é um processo dinâmico de degradação da terra resultante de variações climáticas e atividades humanas. A principal causa é a retirada da cobertura vegetal, que provoca a exposição do solo aos agentes erosivos.<sup>[2]</sup> O solo sem a cobertura vegetal fica exposto à erosão eólica, solar e pluvial.

Embora a variabilidade temporal e espacial seja uma característica comum do clima, as mudanças climáticas se tornaram um tema de maior preocupação nas últimas décadas. As modificações nos padrões climáticos que estão sendo apresentados pelos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) podem acarretar o desencadeamento ou a aceleração de processos de desertificação em áreas mais vulneráveis. Segundo a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD), entende-se a desertificação como "a degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas", considerando áreas susceptíveis aquelas com índice de aridez entre 0,05 e 0,65.<sup>[3]</sup> O Índice de Aridez (IA) consiste na razão entre a precipitação média e evapotranspiração potencial média em um determinado período. As áreas potencialmente suscetíveis ao processo estariam situadas dentro do IA de 0,05 a 0,65, que engloba as zonas de climas árido, semiárido e sub-úmido seco, segundo o *United Nations Environment Programme* (UNEP).<sup>[4]</sup>

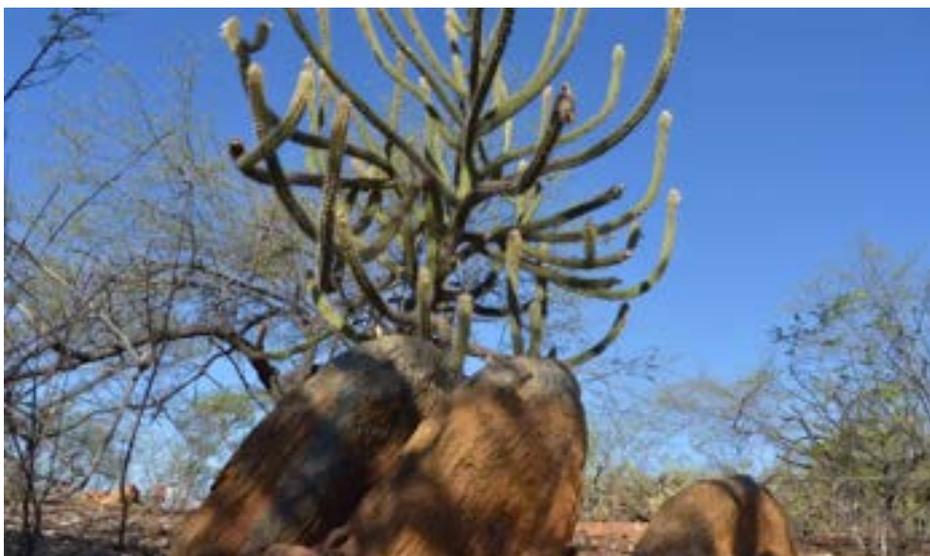
A desertificação ocorre em diversas regiões do planeta. O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) apresenta como área susceptível à desertificação no Brasil parte dos Estados de Alagoas, da Bahia, do Espírito Santo, do Maranhão, de Minas Gerais, da Paraíba, de Pernambuco, do Piauí, do Rio Grande do Norte e de Sergipe, além de

todo o Estado do Ceará.<sup>[5]</sup> Correspondem, na sua maioria, área do semiárido, em particular área recoberta pela caatinga. A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, com biodiversidade adaptada às altas temperaturas e à falta de água. Esse bioma apresenta uma flora e fauna rica em endemismo, representando o maior núcleo de Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (*Seasonally Dry Tropical Forests* - SDTF) dos Neotrópicos.<sup>[6]</sup> O desmatamento elevado no bioma Caatinga vem gerando processos de desertificação em diversas áreas, alterando diretamente a biota, o microclima e os solos.<sup>[7]</sup> Vale ressaltar que no Nordeste do Brasil, além das condições climáticas adversas de baixa pluviosidade, temperaturas elevadas e alta taxa de

*“Problemas socioeconômicos como pobreza, desigualdade social, concentração de terras e exploração de recursos acima da capacidade de suporte do ambiente surgem como intensificadores ao risco à desertificação.”*

evaporação, os problemas socioeconômicos como pobreza, desigualdade social, concentração de terras e exploração de recursos acima da capacidade de suporte do ambiente surgem como intensificadores ao risco à desertificação.<sup>[8]</sup> (Figura 1)

Os primeiros trabalhos sobre desertificação no Brasil foram coordenados pelo professor João de Vasconcelos Sobrinho, da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), por volta de 1971, pioneiro no conceito de núcleos de desertificação, que destaca também que a produção acadêmica no Brasil acerca do tema compreende os mais variados aspectos.<sup>[5]</sup> Trata-se de um tema transdisciplinar com aspectos relacionados a diversas áreas como social, econômica e ambiental. O trabalho do CGEE apresenta um histórico dos importantes estudos sobre desertificação no Brasil. A ciência tem contribuído muito para o tema com produções contínuas e multi, inter e transdisciplinares. Tem-se o desafio de transformar esse conhecimento, juntamente com as políticas públicas formuladas em ações efetivas para o combate e o controle da desertificação, além de convivência com o semiárido, considerando a situação atual e com as projeções de cenários de mudanças climáticas.



**Figura 1. A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, com biodiversidade adaptada às altas temperaturas e à falta de água, mas que está ameaçado pela desertificação.**

(Foto: Agência Brasil/ Arquivo. Reprodução)

## Pesquisas de identificação, acompanhamento e projeções frente às mudanças climáticas

Como a área de desmatamento da caatinga vem crescendo, tanto por questões antrópicas como resultado de padrões ambientais e também relacionados às mudanças climáticas, é necessário o emprego de metodologias para acompanhamento das alterações na fenologia dessa vegetação. Nesse sentido, o sensoriamento remoto é uma importante ferramenta para avaliação da fenologia da vegetação caatinga (SDTF), principalmente por ter uma longa série de dados da vegetação, permitindo o relacionamento com diferentes fatores ambientais.<sup>[6]</sup> Diversas pesquisas nessa temática têm sido publicadas avaliando e reportando resultados em sítios experimentais diversos e com cenários de projeção de mudanças climáticas.<sup>[9, 10, 11, 12]</sup>

O uso de sensoriamento remoto e outras abordagens de modelagem permitem o acompanhamento da dinâmica da vegetação, considerando também os diversos cenários de mudanças climáticas. Estudos demonstram que o desmatamento da caatinga interfere nos fluxos de evaporação, reduzindo a fixação de carbono na atmosfera e influenciando na mitigação dos efeitos do acréscimo das concentrações dos gases do efeito estufa na atmosfera.<sup>[9]</sup> Investigações recentes que avaliaram áreas susceptíveis à desertificação utilizando dados de mudanças climáticas de oito modelos da Fase 6 do Projeto de Intercomparação de

Modelos Acoplados (CMIP6), detectaram tendência de alta à moderada no aumento de áreas susceptíveis à desertificação no Brasil, com potencial risco de incrementos de áreas semiáridas. No cenário mais pessimista de mudança climática, os modelos projetam aumento médio de 6 °C e variação da precipitação em torno de -10,0% a 4,5%.<sup>[10]</sup> Com maior aplicação voltada para dados de orbitais, um estudo de 2020 utilizou índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto e monitorou a sua resposta às variações de temperatura e precipitação, detectando grande potencial de aplicação dessa metodologia na elaboração de planos de gestão e conservação de ecossistemas naturais no contexto de mudanças climáticas e políticas de desenvolvimento sustentável.<sup>[12]</sup>

Recentemente, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) detectaram, pela primeira vez, a ocorrência de regiões áridas no país, utilizando dados de precipitação, temperatura máxima e mínima, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa para o período de 1961 a 2020.<sup>[13]</sup> Áreas com IA inferior a 0,20 (árido) somente foram constatadas no último período avaliado (1990-2020) em uma região localizada no centro norte da Bahia. Além disso, foi detectada tendência de aumento da aridez em todo o país, exceto na região Sul, fator associado às mudanças climáticas. O estudo aponta, ainda, o efeito da expansão de áreas semiáridas no país, com destaque para o Nordeste (**Figura 2**), a uma taxa de 75 mil km<sup>2</sup> para cada época considerada. Esses fatores colocam ainda em maior evidência a necessidade de identificar e monitorar áreas susceptíveis à desertificação, especialmente quando se considera o atual cenário de mudança do clima no Brasil.

## Políticas públicas

Para o conhecimento da problemática, além de várias pesquisas realizadas, destaca-se a delimitação das áreas susceptíveis à desertificação (ASD) pelo PAN-Brasil (Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca).<sup>[14]</sup> O Programa visa promover a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais, para reduzir a vulnerabilidade socioambiental de áreas suscetíveis à desertificação e à seca. As ASD são determinadas segundo os pressupostos da Convenção das Nações Unidas de

Combate à Desertificação (UNCCD), utilizando como critério o IA que, no Brasil, considerava valores entre 0,20 e 0,65. Com o novo estudo realizado pelo CEMADEN e o INPE, as ASD agora compreendem áreas com IA entre 0,05 e 0,65. Além disso, consideram-se áreas de entorno de regiões semiáridas e subúmidas secas.<sup>[15]</sup>

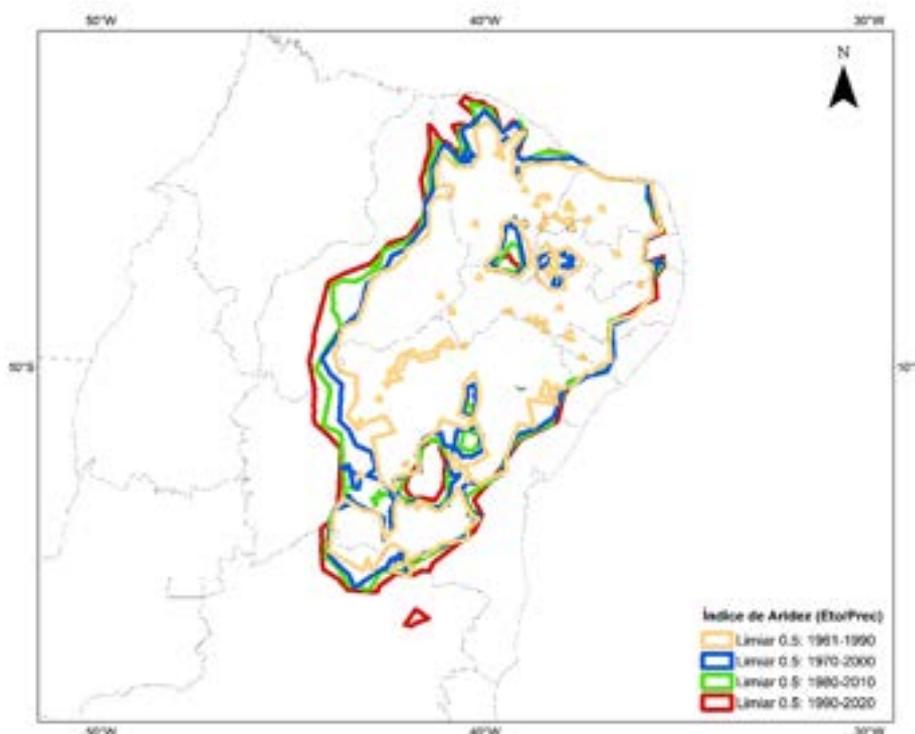
O PAN-Brasil estabelece que o monitoramento e avaliação são requisitos necessários para a gestão em escala nacional, envolvendo diversos atores sociais e instâncias gestoras, com princípios que consideram a participação qualificada de todos os atores envolvidos no combate à desertificação, levando em conta o complexo solo-água-fauna-flora. Esse monitoramento deve considerar as pressões (antrópicas ou não) exercidas sobre os ecossistemas, o estado da desertificação e os

*“O monitoramento e avaliação são requisitos necessários para a gestão em escala nacional, envolvendo diversos atores sociais e instâncias gestoras.”*

resultados provocados pelo fenômeno. De modo geral, o monitoramento e avaliação do PAN-Brasil está em concordância com os procedimentos realizados pela UNCCD.

Em 2015, foi instituída a Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca - PNCD (Lei n.º 13.153/2015), que prevê a criação da Comissão Nacional de Combate à Desertificação (CNCD) e tem o intuito de prevenir e combater a desertificação, recuperar áreas afetadas, apoiar o desenvolvimento sustentável e instituir mecanismos de proteção e conservação em ASD, integrar a gestão hídrica com ações de prevenção de combate à desertificação, entre outros, através da articulação com programas que tenham ações afins com a PNCD e o PAN-Brasil.<sup>[16]</sup>

O Tribunal de Contas da União (TCU) publicou recentemente, em 2023, o resultado de auditoria a respeito do tema, destacando que a iniciativa se justificou pelo processo crescente de degradação ambiental que as terras do semiárido brasileiro têm apresentado, denominado de desertificação, em função do clima e das ações antrópicas, prejudicando os solos, os recursos hídricos, o bioma Caatinga e a qualidade de vida da população. A auditoria



**Figura 2. Evolução histórica do contorno que define áreas com índice de aridez inferior a 0,50 no Nordeste Brasileiro.**

(Fonte: Tomasella *et al.*, 2023)

avaliou, com base PNCD, as políticas e as ações estaduais de combate à desertificação e de mitigação dos efeitos da seca, bem como outras políticas públicas transversais referentes à região do Semiárido e ao bioma Caatinga. A auditoria operacional foi realizada nos estados do Ceará, da Paraíba, de Pernambuco, do Rio Grande do Norte e de Sergipe e uma das principais conclusões é que para que a política pública de prevenção e combate à desertificação do Semiárido seja efetiva, faz-se necessária a transversalidade com outras políticas e a existência de governança ao nível vertical, horizontal e com atores não governamentais. É destacada a importância da integração das políticas de recursos hídricos, meio ambiente, desenvolvimento rural e regional, mudança climática, agricultura familiar e educação para a região susceptível à desertificação no país.<sup>[17]</sup>

## Atividades mitigadoras

Para mitigar os efeitos da desertificação no Brasil, é preciso a adoção de ações e medidas que visem a redução das causas desse processo. Algumas alternativas de ações mitigadoras são consideradas pelo PAN-Brasil e pelo PNCD. O PAN-Brasil indica ações concretas a serem adotadas pelos poderes públicos e estabelece providências imediatas para a

sua implementação, destacando a necessidade de um arcabouço político. Nesse sentido, a principal ação foi a aprovação da própria Lei nº 13.153/2015. Com a finalização do PAN-Brasil, os governos dos Estados iniciaram a elaboração dos seus Planos, Programas e/ou Políticas de Ações Estaduais de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAE), com detalhamento das ações públicas e privadas ao nível local.<sup>[5]</sup>

O CGEE, a partir da análise de documentos referentes aos PAE dos Estados do Nordeste, elencou as principais considerações evidenciadas pelos respectivos governos. Na Bahia (PAE-BA), por exemplo, é destacado o comprometimento com políticas redutoras das desigualdades sub-regionais e sociais nas ASD; em Pernambuco (PAE-PE), nota-se o interesse do governo de traçar caminhos para combater a desertificação e mitigação dos efeitos da seca; na Paraíba (PAE-PB), o PAE é apontado como instrumento que pode alavancar uma nova fase da relação sociedade/natureza; no Ceará (PAE-CE), o instrumento visa contribuir para uma melhor convivência com o semiárido, por meio da sustentabilidade ambiental do bioma Caatinga, a partir de políticas ambientais, sociais e econômicas, focadas na redução da pobreza. Os demais Estados traçam caminhos semelhantes com o intuito de desenvolver ações e medidas que visem mitigar o problema.

Do ponto de vista prático, o PNCD determina, resumidamente, que cumpre ao poder público, dentre outras ações: a) promover a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais e o fomento às boas práticas sustentáveis adaptadas às condições ecológicas locais; b) promover a instalação de sistemas de captação e uso da água da chuva em cisternas e barragens superficiais e subterrâneas, bem como de poços artesianos onde houver viabilidade ambiental, entre outras tecnologias adequadas para o abastecimento doméstico e a promoção da pequena produção familiar e comunitária, visando à segurança hídrica e alimentar e; c) promover a implantação de sistemas de parques e jardins botânicos, etnobotânicos, hortos florestais, herbários educativos e bancos de sementes crioulas, particularmente para a conservação de espécies e variedades tradicionais da agrobiodiversidade brasileira, adaptadas à aridez e aos solos locais.

Entre as estratégias mais eficientes de combate à desertificação e mitigação da seca há, ainda, a bioeconomia que, segundo o CGEE, pode ser definida como o

“desenvolvimento e a utilização de recursos biológicos nas áreas da saúde humana, agricultura, pecuária, processos industriais e biotecnologia”.<sup>[18]</sup>

Globalmente, diversos países estão investindo para que a bioeconomia traga contribuições socioeconômicas e aumente a sustentabilidade do planeta. (Figura 3)

A bioeconomia vem crescendo no Brasil e a tendência é de que se alcance, cada vez mais, conhecimentos suficientes para a criação de tecnologias sustentáveis que possibilitem o abastecimento da sociedade sem provocar impactos significativos ao meio ambiente e sem comprometer o direito das minorias.<sup>[19]</sup>

*“Globalmente, diversos países estão investindo para que a bioeconomia traga contribuições socioeconômicas e aumente a sustentabilidade do planeta.”*

## Agradecimentos

A autora agradece ao CNPq, pela bolsa de Produtividade em Pesquisa – PQ (processo 313392/2020-0). Agradece, ainda, ao pesquisador Diego Cezar dos Santos Araujo, da UFPE, bolsista do projeto INCT - ONSEAdapta – Observatório Nacional de Segurança Hídrica e Gestão Adaptativa (CNPq Proc. 406919/2022-4).



**Figura 3. Bioeconomia pode trazer contribuições socioeconômicas e aumentar a sustentabilidade do planeta.**

(Foto: Marcelo Camargo/ Agência Brasil. Reprodução)

## Referências

- [1] CHEVAL, S.; DUMITRESCU, A.; BIRSAN, M.-V. Variability of the aridity in the South-Eastern Europe over 1961–2050. *Catena*, v. 151, p. 74–86, 2017.
- [2] FERREIRA, P. S.; GOMES, V. P.; SANTOS, A. M.; MORAIS, Y. C. B.; MIRANDA, R. DE Q.; FERREIRA, J. M. S.; GALVÍNCIO, J. D. Análise do cenário de suscetibilidade à desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú – Estado de Pernambuco. *Scientia Plena*, v. 10, n. 10, p. 1–11, 2014.
- [3] SILVA, E. R. A. C.; MELO, J. G. DA S.; GALVÍNCIO, J. D. Identificação das Áreas Suscetíveis a Processos de Desertificação no Médio Trecho da Bacia do Ipojuca - PE Através do Mapeamento do Estresse Hídrico da Vegetação e da Estimativa do Índice de Aridez. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, n. 3, p. 602–628, 2011.
- [4] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). World Atlas of Desertification. Londres: UNEP/Edward Arnold, 69 p., 1992.
- [5] CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil. Brasília, DF: 252 p., 2016.
- [6] MEDEIROS, R.; ANDRADE, J.; RAMOS, D.; MOURA, M.; PÉREZ-MARIN, A. M.; DOS SANTOS, C. A. C.; DA SILVA, B. B.; CUNHA, J. Remote Sensing Phenology of the Brazilian Caatinga and Its Environmental Drivers. *Remote Sens.*, 14, 2637, 2022.
- [7] SOUZA, B. I. F.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. Caatinga e desertificação. *Mercator*, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 131-150, 2015.
- [8] SANTOS, V. M.; SALES, M. C. L. Zonear para Recuperar: Proposições para o Semiárido Brasileiro (Alto Santo - CE). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 16, n. 01, p. 251-264, 2023.
- [9] DE OLIVEIRA, M. L.; DOS SANTOS, C. A. C.; DE OLIVEIRA, G.; PEREZ-MARIN, A. M.; SANTOS, C. A. G. Effects of human-induced land degradation on water and carbon fluxes in two different Brazilian dryland soil covers. *Science of The Total Environment*, 792, 148458, 2021.
- [10] MORAES, JESSICA BARRETO. Áreas suscetíveis a desertificação no Brasil e projeções para cenários de mudanças climáticas. 58p. Dissertação (Mestrado em Práticas em Desenvolvimento Sustentável). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.
- [11] PALOSCHI, R.; RAMOS, D.; VENTURA, D.; SOUZA, R.; SOUZA, E.; MORELLATO, L.; NÓBREGA, R.; COUTINHO, I.A.C.; VERHOEF, A.; KÖRTING, T. et al. Environmental Drivers of Water Use for Caatinga

**Suzana Maria Gico Lima Montenegro** é engenheira civil, professora titular no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e atualmente diretora-presidente da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC).

Woody Plant Species: Combining Remote Sensing Phenology and Sap Flow Measurements. *Remote Sens.*, 13, 75, 2020.

[12] OLMOS-TRUJILLO, E.; GONZÁLEZ-TRINIDAD, J.; JÚNEZ-FERREIRA, H.; PACHECO-GUERRERO, A.; BAUTISTA-CAPETILLO, C.; AVILA-SANDOVAL, C.; GALVÁN-TEJADA, E. Spatio-Temporal Response of Vegetation Indices to Rainfall and Temperature in A Semiarid Region. *Sustainability*, 12, 1939, 2020.

[13] TOMASELLA, J.; CUNHA, A. P. A.; MARENGO, J. A. Nota Técnica: Elaboração dos Mapas de Índice de Aridez e Precipitação Total Acumulada para o Brasil. 20 p, 2023. Disponível em: <https://abre.ai/hkin>.

[14] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Secretaria de Recursos Hídricos. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil. Brasília: MMA/SRH, 213 p, 2004.

[15] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Secretaria de Recursos Hídricos. Atlas de áreas susceptíveis à desertificação do Brasil. Brasília: MMA/SRH, 134 p, 2007.

[16] BRASIL. Lei nº 13.153, de 30 de julho de 2015. Estabelece a Política Nacional do Idoso. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 31 jul. 2015.

[17] TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (TCU). Auditoria operacional regional coordenada em políticas públicas de combate à desertificação do semiárido. Brasília: TCU, Unidade de Auditoria Especializada em Métodos e Inovação de Petróleo para o Controle, 41 p., 2023.

[18] CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). Oportunidades e Desafios da Bioeconomia. Proposta de modelo de governança para a bioeconomia brasileira. Brasília, DF: 34 p., 2020.

[19] BARBA, R. Y. B.; SANTOS, N. A bioeconomia no século XXI: reflexões sobre biotecnologia e sustentabilidade no Brasil. *Revista de Direito e Sustentabilidade*, v. 6, n. 6, p. 26-42, 2020.



Capa. Alterações no ambiente impactam atividades das formigas fungicultoras  
(Crédito: Flickr. Reprodução)

# Microbiomas de formigas fungicultoras em diferentes biomas brasileiros

*Estudos sobre esses insetos podem levar à compreensão da ecologia química e possíveis aplicações terapêuticas na saúde humana*

Carlismari O. Grundmann, Ivan L. F. Migliorini,  
Weilan G. P. Melo e Mônica Pupo

## Resumo

Pesquisadores brasileiros e americanos revelaram uma descoberta extraordinária ao estudar formigas em diferentes regiões do Brasil. Esses insetos, conhecidos como formigas fungicultoras, têm uma relação íntima com fungos que cultivam para obter alimento, além de outros microrganismos que completam uma surpreendente simbiose multilateral. O estudo concentrou-se principalmente nos gêneros de formigas *Acromyrmex* e *Paratrachymyrmex*, encontrados em diferentes biomas como a Amazônia, Mata Atlântica e a transição Cerrado-Mata Atlântica. Ao analisar essas formigas, os cientistas identificaram bactérias do gênero *Pseudonocardia* que estavam presentes em insetos de todos os biomas amostrados. Mas a grande surpresa foi a descoberta de uma substância inédita, chamada attinimicina, produzida por cerca de 73% das bactérias *Pseudonocardia* associadas às formigas. A attinimicina mostrou ter propriedades biológicas relevantes. Além de ajudar as formigas a se defenderem

contra patógenos prejudiciais, ela também exibiu notável eficácia contra um fungo que comumente afeta humanos, a *Candida albicans*. Esse achado sugere que os microbiomas das formigas podem ter potencial terapêutico na saúde humana, oferecendo uma nova perspectiva para o campo da pesquisa biomédica. Essa pesquisa destaca não apenas a fascinante cooperação entre formigas e microrganismos, mediada por compostos químicos, mas também destaca a biodiversidade única dos biomas brasileiros, sistemas ricos que ainda carecem de estudos e que necessitam de preservação. Essas descobertas abrem portas para futuras investigações e destacam como a natureza continua a nos surpreender, revelando segredos valiosos em nossos próprios quintais.

**Palavras-chave:** Formigas agricultoras; Microrganismos; Produtos naturais; Simbiose

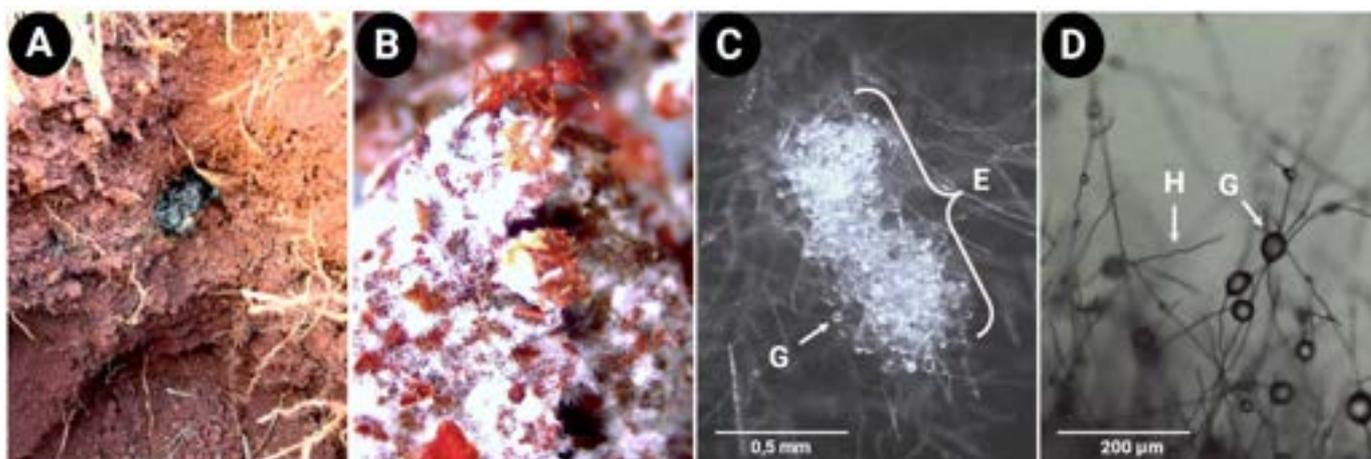
A classe dos insetos compreende um dos grupos mais abundantes, diversificados e bem distribuídos existentes na Terra, representando mais de 70% de todas as espécies de seres vivos já descritas.<sup>[1,2]</sup> Muitos desses representantes pertencentes às ordens Hymenoptera (formigas e abelhas),<sup>[3,4]</sup> Isoptera (cupins)<sup>[5]</sup> e Coleoptera (besouros)<sup>[6]</sup> mantêm relações simbióticas multilaterais com diversos microrganismos que habitam suas colônias para garantir comida e proteção. Um exemplo de interação simbiótica entre inseto e microrganismo é a fungicultura. Essa prática consiste no cultivo e domesticação de um fungo pelo inseto em sua colônia através do constante fornecimento de matéria orgânica para o microrganismo, que, em troca, degrada o material orgânico produzindo nutrientes assimiláveis para o animal.<sup>[7]</sup> Como existem benefícios para os dois organismos envolvidos na interação, esse tipo de interação é considerada mutualística.

Entre os insetos “agricultores” (também conhecidos como fungicultores), ou seja, que cultivam seu próprio alimento, as formigas pertencentes à tribo Attini (subtribo Attina, subfamília Myrmicinae) se destacam nessa prática há mais de 60 milhões de anos.<sup>[8]</sup> Essas formigas se originaram na Amazônia<sup>[9]</sup> e posteriormente se espalharam pela América Central e pelos Neotrópicos,<sup>[10]</sup> classificadas em 19 gêneros e 245 espécies descritas.<sup>[8]</sup> Os gêneros mais popularmente conhecidos incluem as formigas saúvas (*Atta*) e as quenquéns (*Acromyrmex*), que cortam e utilizam material vegetal fresco, como folhas e flores, como substrato para o cultivo do fungo alimento,<sup>[3,13]</sup> sendo por isso denominadas formigas cortadeiras. Este fungo, também denominado cultivar, é um basidiomiceto representado por várias espécies da tribo Leucocoprineae, que coevoluiu em um tipo de mutualismo obrigatório com as formigas, vivendo em câmaras específicas (“jardins fúngicos”) dentro da colônia.<sup>[13-</sup>

<sup>15]</sup> Muitas das espécies de cultivar possuem estruturas

especializadas em suas hifas chamadas de gongilídeos. Essas são pequenas protuberâncias esféricas ricas em nutrientes, como carboidratos e lipídeos, que servem como fonte de alimento para as formigas (Figura 1). Esses nutrientes, por sua vez, são provenientes do processamento realizado

*“O estudo dos microbiomas das formigas fungicultoras pode levar à melhor compreensão da ecologia química envolvida no sistema, ou seja, como os compostos químicos produzidos por microrganismos simbiotes participam da intermediação das interações entre as diferentes espécies envolvidas.”*



**Figura 1. Visão geral do fungo alimento de algumas formigas attina. A. Escavação de formigueiro, pertencente a formigas attina, com exposição do jardim fúngico. B. Imagem ampliada do jardim fúngico, com presença do substrato vegetal e do fungo alimento (branco). C. Estáfida (E) e gongilídeos (G) presentes no fungo alimento após 14 dias de cultivo. D. Microscopia do fungo evidenciando as hifas (H) e os gongilídeos (G).**

(Imagem elaborada pelos autores)

pelo fungo daquele material orgânico coletado pelas formigas.<sup>[16-18]</sup>

Como essas formigas vivem em grandes comunidades, elas possuem uma alta demanda de nutrientes dentro das colônias. Dessa forma, esse ambiente é extremamente vulnerável a infestações por outros microrganismos patogênicos como os fungos filamentosos dos gêneros *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium* e *Escovopsis*.<sup>[19]</sup> *Escovopsis* em particular também coevoluiu com as formigas agricultoras e se especializou em parasitar os jardins fúngicos de suas colônias. Por meio do consumo do cultivar, o fungo *Escovopsis* diminui a sobrevivência e taxa de reprodução das formigas, podendo causar a destruição completa de uma colônia. Esse patógeno é considerado específico dentro deste

pelo fungo daquele material orgânico coletado pelas formigas.<sup>[16-18]</sup>

Como essas formigas vivem em grandes comunidades, elas possuem uma alta demanda de nutrientes dentro das colônias. Dessa forma, esse ambiente é extremamente vulnerável a infestações por outros microrganismos patogênicos como os fungos filamentosos dos gêneros *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium* e *Escovopsis*.<sup>[19]</sup> *Escovopsis* em particular também coevoluiu com as formigas agricultoras e se especializou em parasitar os jardins fúngicos de suas colônias. Por meio do consumo do cultivar, o fungo *Escovopsis* diminui a sobrevivência e taxa de reprodução das formigas, podendo causar a destruição completa de uma colônia. Esse patógeno é considerado específico dentro deste contexto, pois não é encontrado de forma livre na natureza, e tem sido isolado apenas do jardim de fungo e das pilhas de lixo das colônias de formigas, em uma relação simbiótica do tipo parasitismo obrigatório.<sup>[20-23]</sup>

Ao longo de sua evolução, as formigas da subtribo *Attina* desenvolveram diferentes mecanismos comportamentais e químicos para auxiliar na proteção dos seus ninhos frente à dispersão desses microrganismos invasores. Entre os mecanismos comportamentais pode-se destacar o pré-processamento do material orgânico coletado antes de sua incorporação no jardim de fungos e a constante limpeza deste local. Essa higienização inclui a remoção de esporos patogênicos e de fragmentos infectados do próprio cultivar.<sup>[21,24,25]</sup> Já os mecanismos

químicos, englobam a produção de compostos antimicrobianos produzidos pela formiga e secretados através de suas glândulas metapleurais e fezes.<sup>[26–28]</sup> Adicionalmente, actinobactérias, especialmente do gênero *Pseudonocardia*, hospedadas nas cutículas das formigas attina, também são capazes de produzir substâncias bioativas. Esses compostos químicos auxiliam na defesa da colônia contra espécies patogênicas de maneira seletiva, sem prejudicar o fungo alimento, o que torna as actinobactérias mutualistas obrigatórias desse sistema (29–31) (Figura 2).

Nesse contexto, o estudo dos microbiomas das formigas fungicultoras pode levar à melhor compreensão da ecologia química envolvida no sistema, ou seja, como os compostos químicos produzidos por microrganismos simbioses participam da intermediação das interações entre as diferentes espécies envolvidas. Além disso, como esses compostos químicos (produtos naturais ou metabólitos secundários) exercem funções específicas no ambiente natural, eles também podem ter aplicações terapêuticas na saúde humana.

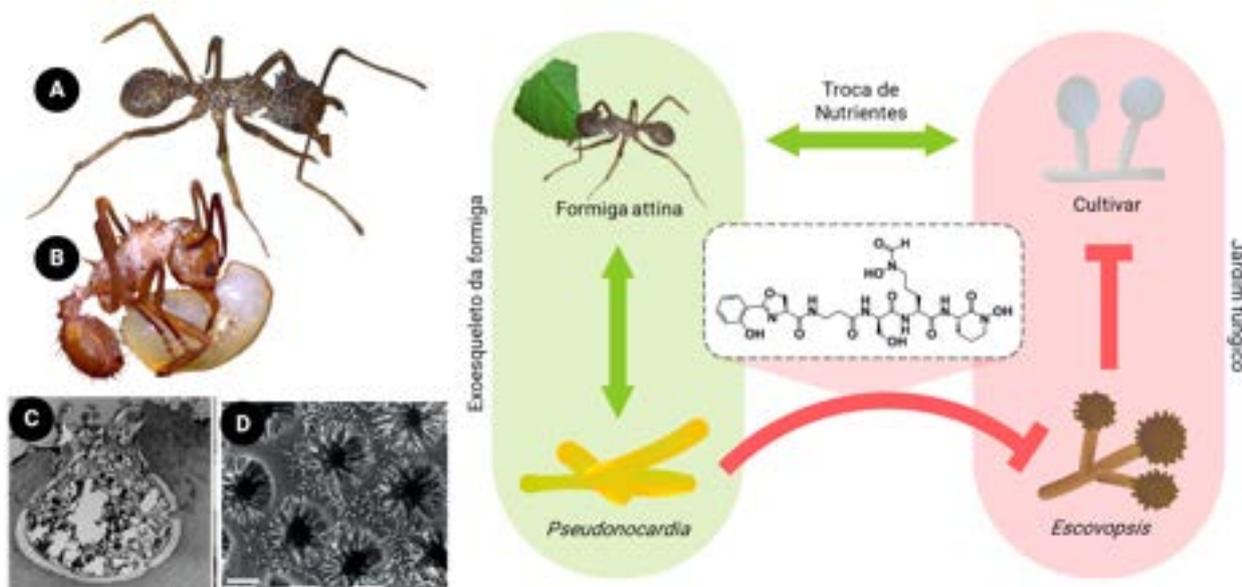
De fato, a descoberta da simbiose entre actinobactérias e formigas attina levou à identificação de compostos biologicamente ativos e estruturalmente diversos. Alguns exemplos incluem dentigerumicinas,<sup>[36,37]</sup> pseudonocardonas,<sup>[38]</sup> selvamicina<sup>[39]</sup> e 9-metoxirebecamicina<sup>[40]</sup> produzidas por diferentes linhagens de *Pseudonocardia*. Notavelmente, esses compostos apresentam uma distribuição limitada e não partilham de um padrão estrutural abrangente. Isso pode ser reflexo de uma história evolutiva altamente fragmentada entre as formigas e as linhagens de actinobactérias estudadas até o momento, aliado ao fato de que a maioria dos estudos relatados se refere a simbioses bacterianas de formigas coletadas na América Central.

Mais recentemente, estudos sobre microbiomas de formigas attina foram realizados no Brasil, envolvendo uma ampla amostragem de formigueiros provenientes de várias regiões brasileiras, incluindo Amazônia, Mata Atlântica e uma região de ecótono desta para o Cerrado. Esses estudos foram conduzidos por uma equipe multidisciplinar integrada em um projeto financiado conjuntamente pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) e pelo Fogarty International Center, National Institutes of Health (FIC/NIH), dos Estados Unidos, constituindo o primeiro e

único *International Cooperative Biodiversity Group (ICBG)* no Brasil.<sup>[41]</sup> Nesse projeto, pesquisadores brasileiros e norte-americanos trabalharam de forma colaborativa desde atividades de coleta de colônias de formigas em parques nacionais e estaduais brasileiros (Figura 3) até os estudos em laboratório, envolvendo métodos microbiológicos, evolutivos, genéticos e químicos.

Foram realizadas diversas expedições por esses biomas, e as coletas foram realizadas de forma direta, sem uso de armadilhas, geralmente através da localização dos ninhos das espécies mais evidentes. Assim, foi possível coletar cerca de 393 colônias de formigas da subtribo Attina pertencentes aos gêneros *Acromyrmex*, *Paratrachymyrmex* (*Trachymyrmex*), *Atta*,

*“A descoberta da simbiose entre actinobactérias e formigas attina levou à identificação de compostos biologicamente ativos e estruturalmente diversos.”*



**Figura 2. Relações simbióticas entre microrganismos e formigas attina. As interações mutualísticas são representadas por setas verdes e as barras vermelhas representam interações prejudiciais. As investigações sobre este sistema levaram ao isolamento de diferentes antifúngicos como a attinimicina representada ao centro. A esquerda imagens de formigas apresentando actinobactérias em seus exoesqueletos (A e B) e micrografias das criptas, locais onde as actinobactérias ficam armazenadas (C e D)**

(Crédito: Imagens C e D das criptas de "Currie CR et al. Coevolved crypts and exocrine glands support mutualistic bacteria in fungus-growing ants. *Science*, v. 311, n. 5757, p. 81-83, 2006". Reimpresso com permissão da AAAS. Imagens A e B elaboradas pelos autores.)

*Apterostigma*, *Cyphomyrmex*, *Mycocephurus*, *Mycetophylax* e outras formigas attina não identificadas.

No Bioma Mata Atlântica, as coletas foram concentradas no Parque Nacional do Itatiaia (Itatiaia, RJ), e cerca de 126 colônias de formigas do gênero *Acromyrmex* foram recuperadas. Os gêneros *Cyphomyrmex* (14 colônias), *Apterostigma* (2 colônias), *Paratrachymyrmex* (2 colônias) e quatro outros gêneros de attina não identificados também foram coletados. Curiosamente, no estudo de Feitosa e colaboradores (2022)<sup>[42]</sup> sobre formigas do Brasil, foram reunidas informações num panorama baseado em 50 anos de

estudos de diversidade, e foi observado que o gênero *Acromyrmex* também foi o mais prevalente no bioma Mata Atlântica.

As coletas no bioma Floresta Amazônica foram realizadas no Parque Nacional de Anavilhanas (Novo Airão, AM) e Reserva Ducke (Manaus, AM). Nessas coletas, cerca de 198 colônias de formigas fungicultoras foram recuperadas. Os gêneros mais prevalentes foram *Apterostigma* (79 colônias) e *Paratrachymyrmex* (70 colônias). *Acromyrmex* (10 colônias), *Cyphomyrmex* (9 colônias) e outras 22 colônias de formigas attina não identificadas também foram recuperadas. Curiosamente, a prevalência dos gêneros *Apterostigma* e *Paratrachymyrmex* também foi observada no estudo de Feitosa e colaboradores (2022)<sup>[42]</sup> para esse bioma.

Na interface de ecótono Cerrado - Mata Atlântica, as coletas foram concentradas principalmente no campus da Universidade de São Paulo em Ribeirão Preto (USP/RP). Cerca de 45 colônias de formigas attina foram coletadas, sendo prevalentes os gêneros *Acromyrmex* (17 colônias) e *Atta* (14 colônias), seguidos de *Paratrachymyrmex* (9 colônias) e *Cyphomyrmex* (5 colônias). Nesse caso, como se trata de uma área de transição entre dois biomas, não há informações compiladas de formigas agricultoras. Porém,

## Definição de termos

**Microbiota** é geralmente definida como o conjunto de microrganismos (bactérias, fungos, protistas, arqueas, algas) vivos presentes em um determinado ambiente.<sup>[48]</sup>

**Microbioma** refere-se à comunidade microbiana (microbiota) de um determinado ambiente e toda sua atividade bioquímica, incluindo elementos estruturais (ácidos nucleicos, proteínas, lipídios, polissacarídeos), metabólitos (moléculas de sinalização, toxinas, moléculas orgânicas e inorgânicas) e moléculas produzidas por hospedeiros coexistentes e estruturados pelas condições ambientais do entorno.<sup>[49]</sup>

**Metabolômica** é uma abordagem científica que visa uma análise abrangente e quantitativa de todos os metabólitos detectáveis (**metaboloma**) em um organismo. Pode ser direcionada (*target*), priorizando a análise de metabólitos específicos conhecidos, ou não direcionada (*untarget*), buscando uma análise global do perfil químico todos os metabólitos presentes na amostra, incluindo aqueles não identificados previamente. As técnicas analíticas usualmente empregadas para avaliação do metaboloma incluem a ressonância magnética nuclear e a espectrometria de massas.<sup>[50-53]</sup>

pode-se afirmar que o gênero *Acromyrmex* é prevalente nos biomas Mata Atlântica e Cerrado. O gênero *Atta*, por sua vez, também é abundante no bioma Mata Atlântica e Cerrado. Assim sendo, essa prevalência dos gêneros *Acromyrmex* e *Atta* nessa interface de ecótono também está segundo o levantamento realizado por Feitosa e colaboradores (2022)<sup>[42]</sup> (Figura 4).

Os microbiomas associados a essa ampla diversidade de formigas foram estudados, e confirmou-se a associação de *Pseudonocardia* a esses insetos em todos os biomas. Surpreendentemente, os estudos indicaram, pela primeira vez na literatura, a ampla distribuição geográfica de um novo composto chamado attinimicina.<sup>[43]</sup> Esse peptídeo linear foi detectado em 73% das linhagens de *Pseudonocardia* associadas a formigas agricultoras coletadas no Brasil.

Inicialmente, análises metabolômicas dos extratos de diversas linhagens de *Pseudonocardia* coletadas revelaram a presença desse metabólito em ampla ocorrência entre essas amostras. Em seguida, os genomas de algumas linhagens de *Pseudonocardia* foram avaliados para encontrar o grupo de genes responsáveis pela biossíntese da attinimicina e assim confirmar a sequência de aminoácidos na estrutura química. Posteriormente, *primers* (pequenos fragmentos de DNA complementares ao material genético que se deseja estudar) foram desenhados para avaliar se esse mesmo grupo de genes estava presente em *Pseudonocardia* simbiotes de outras espécies de formigas attina provenientes do Panamá. Curiosamente, os genes relacionados à biossíntese da attinimicina só foram encontradas nas linhagens de

*Pseudonocardia* brasileiras. Isso demonstra que possivelmente durante o processo evolutivo dessas formigas de diferentes localidades, elas coevoluíram com subfamílias distintas deste gênero de actinobactéria.

A attinimicina demonstrou ser um tipo de sideróforo produzido por *Pseudonocardia*. Os sideróforos são moléculas produzidas por microrganismos capazes de complexar seletivamente a íons de ferro, para auxiliar na

*“Attinimicina também apresentou resultados antifúngicos significativos em ensaios utilizando modelos animais.”*

captação e aquisição desse metal, essencial para processos metabólicos vitais.<sup>[44,45]</sup> Os sideróforos também desempenham um papel crítico em competições por ferro no ambiente, onde diferentes microrganismos competem pela aquisição desse micronutriente escasso.<sup>[46,47]</sup> Adicionalmente, attinimicina em sua forma livre apresentou atividade antifúngica seletiva contra *Escovopsis*, mas nenhuma atividade contra o fungo cultivar, exibindo, portanto, atividade antifúngica seletiva contra o patógeno natural das formigas. Com isso, levantou-se a hipótese de que attinimicina poderia ter um papel ecológico na proteção da colônia de formigas contra a dispersão de patógenos.

Para avaliar a possibilidade de produção de attinimicina no ambiente natural e validar a hipótese de seu papel ecológico, novas coletas foram realizadas no Parque Nacional do Itatiaia (RJ) e no campus da USP em Ribeirão Preto (SP). Ao contrário das coletas iniciais, nas quais as bactérias isoladas das formigas foram cultivadas em laboratório e os metabólitos foram extraídos a partir dessas culturas *in vitro*, nestas novas coletas a extração de fragmentos do jardim fúngico, bem como de formigas operárias, foi



**Figura 3. Trabalhos de coleta do jardim fúngico de diferentes espécies de formigas attina realizados nos biomas de ecótono Cerrado – Mata Atlântica e Mata Atlântica.**

(Imagem elaborada pelos autores)

conduzida no próprio local de coleta. A detecção *in situ* dessa molécula foi confirmada por espectrometria de massas em aproximadamente 40% das amostras analisadas, o que corrobora a importância desse composto no contexto ecológico em questão.

Attinimicina também apresentou resultados antifúngicos significativos em ensaios utilizando modelos animais infectados com *Candida albicans*. Esse patógeno frequentemente acomete humanos, causando lesões em diferentes tecidos, especialmente as mucosas oral e vaginal. O tratamento de camundongos infectados com attinimicina, em sua forma não complexada com ferro, resultou em uma redução da carga fúngica equiparada com fármacos clinicamente relevantes da classe dos azóis.

A ampla distribuição geográfica do conjunto de genes responsáveis pela biossíntese da attinimicina em linhagens de *Pseudonocardia* spp. do Brasil destaca este composto como o primeiro metabólito especializado produzido por bactérias associadas a formigas attina descrito na literatura. Isso enfatiza a importância da ampla amostragem para estudos da biodiversidade dos biomas brasileiros, realçando o potencial para descoberta de novas moléculas bioativas através da investigação desses ecossistemas únicos que abrigam as formigas attina.

Esse maior entendimento da química envolvida na simbiose defensiva em formigas agricultoras no Brasil, e à



**Figura 4.** Gêneros de formigas attina mais representativos nas coletas realizadas pelo grupo de pesquisa em diferentes biomas. No bioma Amazônia os gêneros *Paratrachymyrmex* e *Apterostigma* foram os mais encontrados, no ecótono Cerrado - Mata Atlântica foram os gêneros *Acromyrmex* e *Atta* enquanto na Mata Atlântica o gênero *Cyphomyrmex* se destacou

(Créditos: Mapa do Brasil modificado de IBGE [atlas escolar. ibge.gov.br]; imagens das formigas modificadas de Antweb.org/April Nobile. Elaborado pelos autores)

descoberta de um novo produto natural com ação antifúngica em modelos *in vivo*, só foi possível graças à equipe multidisciplinar de pesquisadores reunidos no projeto ICBG (FAPESP/FIC-NIH).

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem o apoio financeiro das agências de fomento Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processos 2013/50954-0 (MTP), 2020/06430-0 (COG), 2015/01001-6 (WGPM), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo 307893/2022-7 (MTP). e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

**Carlismari O. Grundmann** é doutoranda em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas, Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto (FCFRP), Universidade de São Paulo (USP),

**Ivan L. F. Migliorini** é doutorando em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas, FCFRP-USP.

**Weilan G. P. Melo** é professora substituta no Centro de Ciências Agrárias, Naturais e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (CCANL-Uemasul), Estreito, MA.

**Mônica T. Pupo** é Professora Titular do Departamento Ciências Farmacêuticas, orientadora do Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas, FCFRP-USP, e bolsista do CNPq.

## Referências

- [1] CHAPMAN, A. D. Numbers of Living Species in Australia and the World. Heritage, ed. 2, 2009.
- [2] WILSON, E. O. The Diversity of Life. Harvard University Press. 2010.
- [3] CURRIE, C. R. A community of ants, fungi, and bacteria: A multilateral approach to studying symbiosis. Annual Review of Microbiology, v. 55, p. 357-80, 2001.
- [4] PALUDO, C. R.; MENEZES, C.; SILVA-JUNIOR, E. A.; VOLLET-NETO, A.; ANDRADE-DOMINGUEZ, A.; PISHCHANY, G. et al. Stingless Bee Larvae Require Fungal Steroid to Pupate. Scientific Reports, v. 8, n. 1122, 2018.
- [5] AANEN, D. K.; EGGLETON, P.; ROULAND-LEFÈVRE, C.; GULDBERG-FROSLEY, T.; ROSENDAHL, S.; BOOMSMA, J. J. The evolution of fungus-growing termites and their mutualistic fungal symbionts. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 99, n. 23, p. 14887-14892, 2022.
- [6] FARRELL, B. D.; SEQUEIRA, A. S.; O'MEARA, B. C.; NORMARK, B. B.; CHUNG, J. H.; JORDAL, B. H. The evolution of agriculture in beetles (Curculionidae: Scolytinae and Platypodinae). Evolution, v. 55, n. 10, p. 2011-2027, 2001.
- [7] BIEDERMANN, P. H. W.; VEGA, F. E. Ecology and evolution of insect-fungus mutualisms. Annual Review of Entomology, v. 65, p. 431-455, 2020.
- [8] SCHULTZ, T. R. Fungus-Farming Ants (Attini in Part). Em: Starr, C. (eds) Encyclopedia of Social Insects. Springer. 2020.
- [9] SCHULTZ, T. R.; MEIER, R. A. phylogenetic analysis of the fungus-growing ants (Hymenoptera: Formicidae: Attini) based on morphological characters of the larvae. Systematic Entomology, v. 20, n. 4, p. 337-370, 1995.
- [10] BRANSTETTER, M. G.; JESOVNIK, A.; SOSA-CALVO, J.; LLOYD, M. W.; FAIRCLOTH, B. C.; BRADY, S. G. et al. Dry habitats were crucibles of domestication in the evolution of agriculture in ants. Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences, v. 284, n. 1852, 2017.
- [11] BOLTON, B. AntCat - An online catalog of the ants of the world. Disponível em: <http://antcat.org>. Acesso em Agosto 2016.
- [12] WARD, P. S.; BRADY, S. G.; FISHER, B. L.; SCHULTZ, T. R. The evolution of myrmicine ants: Phylogeny and biogeography of a hyperdiverse ant clade (Hymenoptera: Formicidae). Systematic Entomology. v. 40, n. 1, p. 61-81, 2014.
- [13] SCHULTZ, T. R.; BRADY, S. G. Major evolutionary transitions in ant agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 105, n. 14, p. 5435-5440, 2008.
- [14] MUELLER, U. G.; REHNER, S. A.; SCHULTZ, T. R. The evolution of agriculture in ants. Science, v. 281, n. 5385, p. 2034-2038, 1998.
- [15] MEHDIABADI, N. J.; SCHULTZ, T. R. Natural history and phylogeny of the fungus-farming ants (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae: Attini). Myrmecological News. v. 13, p. 37-55, 2009.
- [16] DE FINE LICHT, H. H.; BOOMSMA, J. J.; TUNLID, A. Symbiotic adaptations in the fungal cultivar of leaf-cutting ants. Nature Communications, v. 5, n. 5675, 2014.
- [17] QUILAN, R. J.; CHERRETT, J. M. The role of fungus in the diet of the leaf-cutting ant *Atta cephalotes* (L.). Ecological Entomology v. 4, n. 2, p. 151-160, 1979.
- [18] DE FINE LICHT, H. H.; BOOMSMA, J. J. Forage collection, substrate preparation, and diet composition in fungus-growing ants. Ecological Entomology v. 35, n. 3, p. 259-269, 2010.
- [19] PAGNOCCA, F. C.; MASIULIONIS, V. E.; RODRIGUES, A. Specialized fungal parasites and opportunistic fungi in gardens of attine ants. Psyche A Journal of Entomology, v. 2012, n. 905109, 2012.
- [20] CURRIE, C. R.; MUELLER, U. G.; MALLOCH, D. The agricultural pathology of ant fungus gardens. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 96, n. 14, p. 7998-8002, 1999.
- [21] CURRIE, C. R.; STUART, A. E. Weeding and grooming of pathogens in agriculture by ants. Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences, v. 268, n. 1471, p. 1033-1039, 2001.
- [22] BOT, A. N. M.; CURRIE, C. R.; HART, A. G.; BOOMSMA, J. J. Waste management in leaf-cutting ants. Ethology Ecology & Evolution, v. 13, n. 3, p. 225-237, 2001.
- [23] REYNOLDS, H. T.; CURRIE, C. R. Pathogenicity of *Escovopsis weberi*: The parasite of the attine ant-microbe symbiosis directly consumes the ant-cultivated fungus. Mycologia, v. 96, n. 5, p. 955-959, 2004.
- [24] ABRAMOWSKI, D.; CURRIE, C. R.; POULSEN, M. Caste specialization in behavioral defenses against fungus garden parasites in *Acromyrmex octospinosus* leaf-cutting ants. Insectes Sociaux, v. 58, p. 65-75, 2011.
- [25] GOES, A. C.; BARCOTO, M. O.; KOOJI, P. W.; BUENO, O. C.; RODRIGUES, A. How Do Leaf-Cutting Ants Recognize Antagonistic Microbes in Their Fungal Crops? Frontiers in Ecology and Evolution, v. 8, n. 95, 2020.
- [26] FERNÁNDEZ-MARÍN, H.; ZIMMERMAN, J. K.; REHNER, S. A.; WCISLO, W. T. Active use of the metapleural glands by ants in controlling fungal infection. Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences, v. 273, n. 1594, 2006.
- [27] FERNÁNDEZ-MARÍN, H.; NASH, D. R.; HIGGINBOTHAM, S.; ESTRADA, C.; VAN, ZWEDEN, J. S.; D'ETTORRE, P. et al. Functional role of phenylacetic acid from metapleural gland secretions in controlling fungal pathogens in evolutionarily derived leaf-cutting ants. Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences, v. 282, n. 1807, 2015.
- [28] RODRIGUES, A.; CARLETTI, C. D.; BUENO, O. C.; PAGNOCCA, F. C. Leaf-cutting ant faecal fluid and mandibular gland secretion: Effects on microfungi spore germination. Brazilian Journal of Microbiology, v. 39, n. 1,

p. 64-67, 2008.

[29] CURRIE, C. R.; SCOTT, J. A.; SUMMERBELL, R. C.; MALLOCH, D. Fungus-growing ants use antibiotic-producing bacteria to control garden parasites. *Nature*, v. 398, p. 701-704, 1999.

[30] POULSEN, M.; CAFARO, M. J.; ERHARDT, D. P.; LITTLE, A. E. F.; GERARDO, N. M.; TEBBETS, B. et al. Variation in *Pseudonocardia* antibiotic defence helps govern parasite-induced morbidity in *Acromyrmex* leaf-cutting ants. *Environmental Microbiology Reports*, v. 2, n. 4, p. 534-540, 2010.

[31] CAFARO, M. J.; POULSEN, M.; LITTLE, A. E. F.; PRICE, S. L.; GERARDO, N. M.; WONG, B. et al. Specificity in the symbiotic association between fungus-growing ants and protective *Pseudonocardia* bacteria. *Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences*, v. 278, n. 1713, p. 1814-1822, 2011.

[32] CHEVRETTE, M. G.; CARLSON, C. M.; OORTEGA, H. E.; THOMAS, C.; ANANIEV, G. E.; BARNS, K. J. et al. The antimicrobial potential of *Streptomyces* from insect microbiomes. *Nature Communications*, v. 10, n. 516, 2019.

[33] HAEDER, S.; WIRTH, R.; HERZ, H.; SPITELLER, D. Candicidin-producing *Streptomyces* support leaf-cutting ants to protect their fungus garden against the pathogenic fungus *Escovopsis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 106, n. 12, p. 4742-4746, 2009.

[34] SCHOENIAN, I.; SPITELLER, M.; GHASTE, M.; WIRTH, R.; HERZ, H.; SPITELLER, D. Chemical basis of the synergism and antagonism in microbial communities in the nests of leaf-cutting ants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 108, n. 5, p. 1955-1960, 2011.

[35] SEIPKE, R. F.; BARKE, J.; BREARLEY, C.; HILL, L.; YU, D. W.; GOSS, R. J. M. et al. A single *Streptomyces* symbiont makes multiple antifungals to support the fungus farming ant *acromyrmex octospinosus*. *PLOS One*, v. 6, n. 8: e22028, 2011.

[36] OH, D. C.; POULSEN, M.; CURRIE, C. R.; CLARDY, J. Dentigerumycin: A bacterial mediator of an ant-fungus symbiosis. *Nature Chemical Biology*, v. 5, p. 391-393, 2009.

[37] BAE, M.; MEVERS, E.; PISHCHANY, G.; WHALEY, S. G.; ROCK, C. O.; ANDES, D. R. et al. Chemical Exchanges between Multilateral Symbionts. *Organic Letters*, v. 23, n. 5, p. 1648-1652, 2021.

[38] CARR, G.; DERBYSHIRE, E. R.; CALDERA, E.; CURRIE, C. R.; CLARDY, J. Antibiotic and antimalarial quinones from fungus-growing ant-associated *pseudonocardia* sp. *Journal of Natural Products*, v. 75, n. 10, p. 1806-1809, 2021.

[39] VAN ARNAM, E. B.; RUZZINI, A. C.; SIT, C. S.; HORN, H.; PINTO-TOMÁS, A. A.; CURRIE, C. R. et al. Selvamycin, an atypical antifungal polyene from two alternative genomic contexts. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 113, n. 46, p. 12940-12945, 2016.

[40] VAN ARNAM, E. B.; RUZZINI, A. C.; SIT, C. S.; CURRIE, C. R.; CLARDY, J. A Rebeccamycin Analog Provides Plasmid-Encoded Niche Defense. *Journal of the American Chemical Society*, v. 137, n. 45, p. 14272-14274, 2015.

[41] PUPO, M. T.; CURRIE, C. R.; CLARDY, J. Microbial symbionts of insects are the focus of the first International Cooperative Biodiversity Group (ICBG) in Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 28, p. 393-401, 2017.

[42] FEITOSA, R. M.; CAMACHO, G. P.; SILVA, T. S.; ULYSSÉA, M. A.; LADINO, N.; OLIVEIRA, A. M. et al. Ants of Brazil: an overview based on 50 years of diversity studies. *Systematics and Biodiversity*, v. 20, n. 1, p. 1-27, 2022.

[43] FUKUDA, T. T. H.; HELFRICH, E. J. N.; MEVERS, E.; MELO, W. G. P.; VAN ARNAM, E. B.; ANDES, D. R. et al. Specialized metabolites reveal evolutionary history and geographic dispersion of a multilateral symbiosis. *ACS Central Science*, v. 7, n. 2, p. 292-299, 2021.

[44] NEILANDS, J. B. Siderophores: Structure and function of microbial iron transport compounds. *Journal of Biological Chemistry*, v. 270, n. 45, p. 26723-26726, 1995.

[45] HIDER, R. C.; KONG, X. Chemistry and biology of siderophores. Vol. 27, *Natural Product Reports*, v. 27, p. 637-657, 2010.

[46] NEUHUS, R.; PICOT, A.; OLIVEIRA, N. M.; MITRI, S.; FOSTER, K. R. The evolution of siderophore production as a competitive trait. *Evolution*, v. 71, n. 6, p. 1443-1455, 2017.

[47] KRAMER, J.; ÖZKAYA, Ö.; KUMMERLI, R. Bacterial siderophores in community and host interactions. *Nature Reviews Microbiology*, v. 18, n. 3, p. 152-163, 2020.

[48] MARCHESI, J. R.; RAVEL, J. The vocabulary of microbiome research: a proposal. *Microbiome*, v. 3, n. 31, 2015.

[49] BERG, G.; RYBAKOVA, D.; FISCHER, D.; CERNAVA, T.; VERGES, M. C. C.; CHERLES, T. et al. et al. Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges. *Microbiome*, v. 8, n. 103, 2020.

[50] PUTRI, S. P.; YAMAMOTO, S.; TSUGAWA, H.; FUKUSAKI, E. Current metabolomics: Technological advances. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, v. 116, n. 1, p. 9-16, 2013.

[51] ALSEEKH, S.; AHARONI, A.; BROTMAN, Y.; CONTREPOIS, K.; D'AURIA, J.; EWALD, J. et al. Mass spectrometry-based metabolomics: a guide for annotation, quantification and best reporting practices. *Nature Methods*, v. 18, n. 7, p. 747-756, 2021.

[52] DETTMER, K.; ARONOV, P. A.; HAMMOCK, B. D. Mass spectrometry-based metabolomics. *Mass Spectrometry Reviews*, v. 26, n. 1, p. 51-78, 2007.

[53] GOWDA, G. A. N.; RAFTERY, D. NMR-Based Metabolomics. *Cancer Metabolomics: Methods and Applications*, v. 1280, p. 19-37, 2021.



Capa. Brasil possui 259 espécies de abelhas sem ferrão distribuídas em seus seis biomas  
(Foto: [Demeter](#). Reprodução)

# As abelhas “sem-ferrão” dos biomas brasileiros

*O Brasil possui a maior biodiversidade de abelhas “sem-ferrão” do planeta, essenciais para o funcionamento dos ecossistemas e com grande potencial econômico*

David Silva Nogueira, Ayrton Vollet Neto,  
Mariana Pupo Cassinelli, José Augusto dos Santos-Silva,  
Fabio Santos do Nascimento e Ana Lígia Leandrini de Oliveira

## Resumo

As abelhas “sem-ferrão”, também conhecidas como abelhas nativas ou meliponíneos, estão distribuídas em grande parte das regiões de clima tropical do planeta e em menor abundância em regiões de clima subtropical. Apesar de não serem as abelhas mais utilizadas para a produção de mel nos dias de hoje, o manejo de algumas espécies de meliponíneos e o uso de seus produtos já eram realizados no Brasil por povos e comunidades tradicionais, muito antes da chegada da espécie *Apis mellifera* no século XIX. Ao contrário das abelhas melíferas (tribo Apini), que se dividem em apenas oito espécies e um único gênero (*Apis*), as abelhas “sem-ferrão” (tribo Meliponini) possuem dezenas de gêneros e pouco mais de 250 espécies somente em território brasileiro. Neste artigo, abordamos alguns aspectos da diversidade de espécies abelhas “sem-ferrão” nos diferentes biomas brasileiros.

**Palavras-chave:** Abelhas nativas; Meliponicultura; Fitofisionomia

Conhecida pela produção de mel e lembrada pela ferroada dolorida, a abelha mais popular em nosso país é a abelha africanizada (*Apis mellifera* L.), um híbrido de variedades europeias e africanas, introduzidas no Brasil a partir de 1839 e em 1956, respectivamente. O que muitos desconhecem é que esta trata-se apenas de uma das mais de 2.500 espécies de abelhas estimadas em nosso território, das quais somente cerca de 10% são sociais e uma porcentagem ainda menor produz mel. Entre as abelhas sociais, o grupo mais diverso é o dos meliponíneos (família Apidae, tribo Meliponini), que somam mais de 250 espécies descritas no país.<sup>[1]</sup> Os meliponíneos, ou abelhas “sem-ferrão”, assim chamadas por terem perdido o ferrão funcional ao longo do processo evolutivo, estão distribuídos nos diferentes domínios fitogeográficos brasileiros, uns mais e outros menos restritos a determinadas condições morfoclimáticas e a paisagens vegetais específicas para a construção de seus ninhos.

Descrever, ou ainda estimar, a distribuição dessas espécies de abelhas em cada bioma pode ser uma tarefa mais desafiadora do que se apresenta em um primeiro momento. Isso porque os domínios fitogeográficos não podem ser compreendidos como entidades homogêneas em toda sua extensão, muito menos com limites claramente definidos, existindo áreas nucleares (*core*) que apresentam algumas vezes áreas de inserção de outros domínios, e faixas de transição entre os domínios contíguos. Além disso, alguns dos relatos de ocorrência das espécies – inúmeros realizados em áreas de transição dos biomas – carecem de informações detalhadas sobre as características ambientais do local de coleta. Por sua vez, os registros de ocorrência em apenas uma localidade podem não ser o reflexo de uma área de distribuição exclusiva, mas sim resultado do reduzido número de áreas amostradas. Ainda assim, na perspectiva de lançar luz sobre a diversidade de abelhas nativas nos biomas brasileiros, ousamos aqui abordar este tema a partir de uma análise, ainda que limitada, fundamentada no levantamento recente de Nogueira<sup>[1]</sup> e nos registros de ocorrência de Camargo e colaboradores.<sup>[2]</sup>

A Amazônia, maior bioma brasileiro que cobre quase metade do território, é também o bioma que detém a maior diversidade de abelhas “sem-ferrão” do país, uma vez que possui registros de aproximadamente 200 espécies, sendo mais de 100 espécies de ocorrência exclusiva. Além disso, nesse bioma há uma grande abundância de ninhos e muitos

locais com potencial para construção de novos ninhos. No entanto, não é fácil para quem caminha por esse ambiente avistá-las – em geral, as abelhas forrageiam em busca de alimento que muitas vezes só está disponível nos dosséis das árvores gigantescas e seus ninhos podem também se encontrar alguns metros acima do nível do chão. A Amazônia, ao contrário do imaginário popular de um oceano verde homogêneo, é constituída de uma série de fitofisionomias bastante diversas (como matas de Igapó e Várzea, Campina, Campinarana e Lavrado) e que carregam biodiversidades próprias, fatores que tornam difícil a tarefa de eleger espécies representativas do bioma todo. O gênero *Melipona* Illiger é talvez um dos grandes destaques, já que possui 20 espécies exclusivas do bioma e entre os meliponicultores, é o mais

*“A Amazônia detém a maior diversidade de abelhas “sem-ferrão” do país, uma vez que possui registros de aproximadamente 200 espécies, sendo mais de 100 espécies de ocorrência exclusiva.”*

procurado pela mansidão das abelhas, do mel frequentemente apreciado e da capacidade de aceitação à vida em caixas para criação. Dentre as espécies desse gênero, a urucu boca-de-renda (*M. seminigra* Friese), é uma das mais amplamente distribuídas nesse bioma e que marca presença em meliponários na porção mais ocidental da Amazônia. Na porção mais oriental se destacam a urucu amarela (*M. flavolineata* Friese) e a urucu cinzenta, também conhecida como tiúba (*M. fasciculata* Smith), essa última presente também na região de transição com o Cerrado. É também notável, e talvez mais fácil de enxergar na imensidão da floresta Amazônica, a grande quantidade de ninhos externos das espécies de *Trigona* Jurine, a grande diversidade de espécies e entradas das *Partamona* Schwarz, que mais parecem adornos de catedrais góticas, além das entradas de *Melipona lateralis* Erichison, conhecidas como urucu-canudo (Figuras 1 e 2), que se assemelham ao nariz de uma anta (Figura 2). É na Amazônia que fica clara a íntima relação dos meliponíneos com os povos nativos do Brasil, já que há registros de criação desses animais de forma racional por diferentes etnias indígenas, cada uma com suas próprias espécies e com sua própria



**Figura 1. Abelhas da espécie *Melipona lateralis* Erichison (uruçu-canudo).**  
(Foto: Ayrton Vollet Neto)

maneira de manejar.

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, que corta o Brasil central quase que de norte a sul. Tanta extensão passa por uma grande diversidade de composições geográficas e climáticas que reflete em uma grande biodiversidade de forma geral. Os característicos troncos retorcidos de árvores de casca grossa abrigam a segunda maior diversidade de abelhas sem ferrão entre os biomas, tendo sido descritas um número de espécies aproximadamente duas vezes menor que na Amazônia. Assim como a Mata Atlântica, esse bioma vem sofrendo uma extensa e rápida perda de área para pastagens e plantações de soja, colocando uma série de espécies em risco de extinção. Este é o caso da urucu amarela do cerrado (*Melipona rufiventris* Lepeletier), uma abelha que apesar de bastante criada por meliponicultores, se encontra na situação de perigo de extinção em áreas de vegetação nativas de Cerrado. A abelha mandaguari [*Scaptotrigona postica* (Latreille)] é também muito comum nesse bioma, talvez por ser mais resistente aos impactos ambientais causados pela atividade humana e por responder bem ao manejo em caixas, é bastante encontrada tanto em meliponários quanto em fragmentos de cerrado. Em relação a espécies de ocorrência restrita a este bioma, encontra-se apenas a *Schwarziana chapadensis* Melo, que possui amplo espaço malar (espaço entre a mandíbula e o olho composto), o que confere um aspecto comprido para a cabeça. Essa espécie possui registros apenas para a Chapada dos Veadeiros, no

estado de Goiás.

Na árida paisagem da Caatinga, domínio fitogeográfico considerado exclusivamente brasileiro de clima semiárido e baixa pluviosidade anual, a diversidade de espécies de abelhas pode ser menos aparente. No entanto, no sertão nordestino os ocos dos troncos retorcidos das umburanas, catingueiras e cumarus há chances de que estejam recheados de jandaíras (*Melipona subnitida* Ducke). Além de ser uma das espécies responsáveis pela polinização de grande parte da flora silvestre desta área, a jandaíra é, sem dúvidas, a abelha mais popular nos meliponários da região e entre os criadores de abelhas, destacando-se por sua importância econômica para a população local. Endêmica do Nordeste, esta espécie possui ampla distribuição geográfica na Caatinga, mas ocorre também nas matas de restinga ao longo da costa atlântica. Por sua vez, margeando o “Velho Chico” depara-se mais amiúde com a *Melipona mandacaia* Smith, uma das espécies popularmente conhecidas como mandaçaia. Distribuída ao longo do Rio São Francisco e nos estados da Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Piauí, esta é a espécie predominante em algumas fitofisionomias da Caatinga, não sobrepondo sua distribuição com sua vizinha jandaíra (*M. subnitida*). Entre outras espécies que se destacam na paisagem estão a pequena “mosquito” (*Plebeia flavocincta* Cockerell) e a moça-branca da região (*Frieseomelitta doederleini* Friese). A Caatinga, apesar do estigma de ambiente desértico com pouca diversidade, é rico em configurações paisagísticas e florísticas, o que são fatores muito importantes para a distribuição das espécies que ocorrem nestes ambientes, por exemplo, entre “as caatingas” há configurações arbórea e subarbórea de pequeno porte com alta densidade de troncos lenhosos e finos, mencionadas na literatura como Matas de Carrasco ou Catanduas. Ainda existem os chamados brejos de altitude ou florestas serranas, que possuem características e condições de florestas de Mata Atlântica, que favorecem a ocorrência de espécies diferentes das encontradas em ambientes mais áridos, são verdadeiros “santuários” da vida silvestre dentro do semiárido nordestino. De fato, as caatingas são muito diferentes entre si, e o que sabemos é que as espécies de meliponíneos que habitam esses locais são resilientes e bem adaptadas as suas próprias condições morfoclimáticas.

A Mata Atlântica possui grande extensão de área mesclada com outras fitofisionomias, uma vez que muito da

sua área original já foi desmatada. Apesar de ser um ambiente bastante modificado, a Mata Atlântica ainda abriga diversas espécies que são únicas desse bioma, como o caso da *Melipona capixaba* Moure & Camargo, *Friesella schrottkyi* Friese e algumas espécies de *Plebeia* Schwarz [por exemplo, *P. grapiuna* Melo & Costa, *P. julianii* Moure, *P. lucii* Moure, *P. meridionalis* (Ducke), *P. mosquito* (Smith), entre outras]. Entre as espécies mais criadas, destacam-se a guaraipo [*Melipona bicolor* (Fabricius)], a bugia (*Melipona mondury* Smith) e a uruçú nordestina (*Melipona scutellaris* Latreille), abelhas que produzem um mel altamente apreciado, resistem bem ao manejo e às altas umidades, e no caso da guaraipo também resiste às baixas temperaturas da porção da Mata Atlântica mais ao sul do país. Outras espécies apreciadas pelos criadores e grande produtoras de mel são a *Scaptotrigona xanthotricha* Moure, conhecida como mandaguari

**“A meliponicultura pode ser promovida como uma atividade de conservação das espécies nativas.”**

amarela e a *S. depilis* Moure, conhecida como canudo. Não há muitos registros de extinção de espécies de abelhas “sem-ferrão” nesse bioma, porém, uma espécie que foi registrada e descrita como nova na Serra da Bocaina, em São Paulo (*Schwarziana bocainensis* Melo), não foi novamente encontrada. Há apenas o registro de seis abelhas coletadas na década de 1960, apesar de já ter havido tentativas sem sucesso para procurá-la nessa mesma área posteriormente.<sup>[3]</sup> A urucu nordestina (*M. scutellaris*), apesar de ser uma das espécies mais importantes para a meliponicultura na Mata Atlântica, também já é considerada extinta do ambiente natural. Este fato reforça que a meliponicultura pode ser promovida como uma atividade de conservação das espécies nativas.

O Pantanal é um bioma pequeno em área e considerado relativamente novo, já que o leito do rio Paraná ainda está em formação. Destaca-se por possuir algumas características únicas, como de ser inundado quase o ano inteiro. Dessa forma, várias espécies de fauna e flora precisaram se adaptar ao longo do tempo para resistir a essas pressões ambientais. Nesse contexto, os registros de ocorrência de abelhas “sem-ferrão” para



**Figura 2. Entrada do ninho de *Melipona lateralis* Erichson (uruçu-canudo).**  
(Foto: [Ayrton Vollet Neto](#))

esse bioma são escassos. Dentre as espécies que nele ocorrem, apenas *Plebeia catamarcensis* (Holmberg) é única dessa região, não possuindo registros catalogados para outras áreas até o momento. Entre os criadores, a espécie que se destaca é a *Melipona orbignyi* (Guérin), conhecida como mandaçaia do Pantanal. Outras espécies comuns aos meliponicultores são a *Scaptotrigona postica* (Latreille), conhecida como mandaguari preta, e a *S. depilis* conhecida como canudo.

O Pampa configura-se como o único bioma contido em apenas um estado brasileiro, e possui clima subtropical e temperado, com as estações do ano bem definidas. O Pampa e o Pantanal possuem as menores extensões de território entre os biomas, e também a menor riqueza em número de espécies de abelhas “sem-ferrão”. No Pampa não são encontradas espécies de ocorrência exclusiva, já que todas elas também ocorrem em outros biomas. Uma das espécies mais conhecidas da região talvez seja a *Mourella caerulea* (Friese), que possui traços metálicos em seu tegumento e constrói seus ninhos sob o solo, uma condição importante para abelhas que vivem nos Pampas, já que esse bioma não possui muitas espécies de árvores com troncos que poderiam abrigar abelhas “sem-ferrão”. Essa espécie está sofrendo pressão antrópica, uma vez que nessa região há muitas áreas agricultáveis, que praticam o revolvimento do solo para a plantação, assim sendo, essa prática pode danificar ou mesmo, destruir seus ninhos. Outras espécies também conhecidas são as *Plebeia nigriceps* (Friese), *P.*

Abelhas sociais são aquelas que se organizam em grupos de vários indivíduos, denominados colônias ou sociedades, que são divididos de acordo com suas funções, como, por exemplo, a rainha e as operárias. A rainha é responsável apenas pela reprodução e é a única fêmea capaz de realizar a postura dos ovos que originam novas rainhas, machos e fêmeas operárias. As operárias, por sua vez, são subdivididas em tarefas de manutenção do ninho – como alimentação das larvas, defesa, coleta de alimento e construção da colônia. (Figura 3)

*julianii* e *P. wittmanni* Moure & Camargo. Enquanto *P. nigriceps* e *P. julianii* nidificam em paredes de alvenaria ou cavidades em madeira, *P. wittmanni* utiliza fendas de rochas de granito.<sup>[4]</sup>

Existem também espécies de abelhas “sem-ferrão” que estão praticamente em todos os biomas do Brasil, como a famosa jataí (*Tetragonisca angustula* Latreille), muitas vezes confundida com um mosquitinho, é um símbolo dos meliponíneos não só no Brasil, mas em praticamente toda a América do Sul. Outra abelha bastante conhecida no Brasil todo é a arapuá ou abelha-cachorro (*Trigona spinipes* Fabricius), famosa principalmente pelo comportamento defensivo de suas operárias, que “enrolam” nos cabelos e dão pequenas mordiscadas na pele de desavisados que passam pelos arredores de seus ninhos externos. A borá [*Tetragona clavipes* (Fabricius)] é outra abelha que ocorre praticamente no Brasil inteiro, talvez menos conhecida que as anteriores, dona de um mel com sabor peculiar e bastante inusitado.

Os esforços de coleta e estudos de taxonomia nesse grupo com tamanha diversidade ainda não são suficientes para trazer um entendimento sobre quais fatores determinam a distribuição das abelhas “sem-ferrão”. Há espécies que parecem estar marcadamente em dois biomas, como a mandaçaia (*Melipona quadrifasciata* Lepeletier), que ocorre na área de transição dos biomas Cerrado e Mata Atlântica na região Sudeste do Brasil e a uruçú nordestina (*Melipona scutellaris* Latreille), que ocorre tanto na Caatinga quanto na Mata Atlântica do Nordeste brasileiro. É certo que em um ou mais biomas existam áreas onde certos fatores climáticos, geográficos e biológicos, ainda invisíveis para os nossos olhos, de fato limitem a distribuição de certas espécies e que talvez o que se entende hoje pelas fronteiras dos biomas não sejam o principal fator afetando a distribuição. No entanto, certamente a ocorrência de algumas espécies está mais alinhada com os limites dos domínios fitogeográficos do que com os limites políticos dos estados brasileiros.

“Os esforços de coleta e estudos de taxonomia nesse grupo com tamanha diversidade ainda não são suficientes para trazer um entendimento sobre quais fatores determinam a distribuição das abelhas ‘sem-ferrão’.”

**David Silva Nogueira** é professor pesquisador do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, São Gabriel da Cachoeira, Amazonas (IFAM).

**Ayrton Vollet Neto** é egresso do Programa de Entomologia da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FFCLRP-USP).

**Mariana Pupo Cassinelli** é pós-graduanda do Programa de Entomologia da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FFCLRP-USP).

**José Augusto dos Santos-Silva** é egresso do Programa de Pós-graduação em Entomologia do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA).

**Fábio Santos do Nascimento** é professor pesquisador do Programa de Entomologia da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FFCLRP-USP).

**Ana Ligia Leandrini de Oliveira** é professora pesquisadora da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade Federal do Amazonas (FCF - UFAM).



**Figura 3.** Rainha e operárias de *Scaptotrigona polysticta* Moure (benjoí).  
(Foto: Ayrton Vollet Neto)

Meliponicultor é a pessoa que pratica a criação de abelhas “sem-ferrão” em caixas dispostas em espaços conhecidos como meliponários. A meliponicultura visa a produção de produtos derivados de abelhas nativas, como o mel, própolis, resina e pólen. A meliponicultura é fundamental para promover a sustentabilidade e incentivar práticas de proteção das abelhas nativas. Ainda, muitas famílias utilizam a meliponicultura como uma importante fonte de renda. Além disso, seus produtos podem ser utilizados na alimentação por possuírem alto valor nutritivo e na saúde, uma vez que possuem propriedades cicatrizantes, hidratantes e anti-inflamatórias. (Figura 4)

## Referências

- [1] Nogueira DS. 2023. Overview of stingless bees in Brazil (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). EntomoBrasilis, 16: e1041, 1-13.
- [2] Camargo, J. M. F.; Pedro S. R. M.; Melo, G. A. R. 2023. Meliponini Lepeletier, 1836. In Moure, J. S., Urban, D. & Melo, G. A. R. (Orgs). **Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region - online version**. Available at <http://www.moure.cria.org.br/catalogue>. Acesso em 31/out/2023
- [3] Melo GAR. 2015. New species of the stingless bee genus *Schwarziana* (Hymenoptera, Apidae). Revista Brasileira de Entomologia, 59: 290-293.
- [4] Witter S; Blochtein B; Andrade F; Wolf LF; Imperatriz-Fonseca VL. 2007. Meliponicultura no Rio Grande do Sul: contribuição sobre a biologia e conservação de *Plebeia nigriceps* (Friese, 1901) (Apidae, Meliponini). Bioscience Journal, 23(1): 134-140.



Capa. Anfíbios e répteis são a classe de vertebrados mais ameaçada pelos efeitos das mudanças climáticas  
(Foto: Jordana Ferreira)

# O futuro distópico já chegou para a herpetofauna amazônica... e agora?

*Aceleração das mudanças climáticas pelas ações humanas afetam todas as formas de vida, mas alguns grupos são considerados mais vulneráveis, como os anfíbios e os répteis*

Fernanda Werneck, Jordana G. Ferreira e Felipe Zanusso

## Resumo

O ano de 2023 foi marcado pela ocorrência de eventos climáticos extremos que impactaram diversas regiões do Brasil e do mundo. Na Amazônia, a ocorrência da mais intensa seca histórica dos últimos 120 anos evidenciou que a maior floresta tropical do mundo e sua megabiodiversidade já sofrem os impactos das mudanças climáticas. Assim como para as populações humanas, a biodiversidade também é afetada de diferentes formas, sendo que alguns grupos são considerados mais vulneráveis aos impactos. Nesse artigo apresentamos como as pesquisas em Biologia das Mudanças Climáticas buscam compreender os mecanismos envolvidos nas respostas e os impactos diretos e indiretos das mudanças climáticas nas diversas espécies e populações naturais. Apresentamos alguns resultados obtidos pela comunidade científica para a herpetofauna, que compreende os anfíbios e répteis, e são considerados um dos organismos mais suscetíveis aos impactos por serem animais que dependem das condições ambientais para regular suas temperaturas corporais. Em especial, destacamos como os estudos integrativos do Laboratório de Ecologia e Evolução de Vertebrados do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia têm contribuído para a compreensão das múltiplas dimensões do conhecimento quanto aos impactos das mudanças climáticas para a herpetofauna amazônica. Ao final apresentamos algumas perspectivas futuras para esse campo de pesquisa e a necessidade urgente de adoção de medidas de conservação, mitigação e adaptação baseadas na biodiversidade e, em especial, na herpetofauna amazônica.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas; Amazônia; Anfíbios; Répteis; Biodiversidade; Biologia.

## Ano 2023: emergências climáticas e a crise da sociobiodiversidade na Amazônia

A Amazônia, berço e museu dos mais diversos níveis de diversidade biológica, há pouco considerada por muitos como uma das últimas regiões de florestas conservadas e contínuas e possivelmente fonte de resiliência futura de biodiversidade e serviços ecossistêmicos para todo o planeta, gritou por socorro em 2023 (Figura 1). As temperaturas extremas e a seca histórica dos rios do ano, aliadas às queimadas florestais, produziram cenas distópicas dos impactos diretos das emergências climáticas para a biodiversidade e populações que vivem em seus territórios indígenas, ribeirinhos, rurais e urbanos. Se restava alguma dúvida, ilusão ou mesmo uma inocência otimista quanto à real extensão dos desafios e estresses ambientais que o aquecimento global e eventos climáticos extremos impulsionados pela ação humana colocam sobre a sobrevivência de organismos da Amazônia, essa foi pulverizada com as imagens de animais mortos nas águas rasas escaldantes dos rios, pessoas e organismos sem fonte de água para beber e ar



**Figura 1. Floresta amazônica, às margens do Rio Manicoré, Amazonas, Brasil.**  
(Fonte: Foto de Jordana Ferreira, 2023)

puro para respirar em inúmeras regiões da Amazônia brasileira. Mas como chegamos aqui e o que pesquisas de biologia das mudanças climáticas podem nos informar quanto aos impactos sobre espécies e populações naturais de diversos organismos? Há ainda algo que possamos fazer para mitigar os impactos negativos em prol da conservação da sociobiodiversidade amazônica?

Nos últimos 200 anos a temperatura média do planeta aumentou 1°C (grau Celsius), e isso trouxe muitas mudanças na paisagem e desafios para a vida de muitas plantas e animais. Segundo o relatório divulgado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), é inequívoca a influência humana em esquentar rapidamente a atmosfera através da emissão de gases do efeito estufa, sendo irreversível se ações imediatas não forem implementadas para reverter o cenário.<sup>[1]</sup> Temperaturas mais quentes, eventos climáticos extremos mais frequentes e imprevisíveis (como calor e frio extremos, chuvas intensas, mudanças no nível dos oceanos e nos padrões de cheia, seca e vazante dos rios) colocam em risco os ecossistemas, as espécies da biodiversidade e a própria sobrevivência da humanidade. Ainda que exista atualmente crescente consenso na comunidade científica que as mudanças climáticas são uma gravíssima emergência, tanto para a biodiversidade e ecossistemas naturais quanto para a sociedade humana,<sup>[1, 2]</sup> os seus impactos são sabidamente desiguais, tanto para as populações humanas (grupos mais vulneráveis como pessoas de baixa renda, mulheres, crianças, negros, indígenas, imigrantes, pessoas com

deficiência serão mais impactados), quanto para as espécies da biota (algumas espécies, porções de suas distribuições e regiões geográficas podem ser mais vulneráveis ou possuir maiores ou diferentes potenciais adaptativos de lidar com os desafios). Portanto, entender quais são os mecanismos e processos que conferem vulnerabilidade ou resiliência às espécies é uma questão científica urgente e altamente necessária para a produção de estratégias de conservação aprimoradas e justas frente à complexidade de fatores envolvidos nas respostas da biodiversidade e meios de subsistência dos povos que dependem dessas espécies aos desafios.

As estimativas recentes dos cientistas quanto ao número de espécies que a Amazônia abriga são impressionantes: cerca de 50.000 plantas vasculares, pelo menos 2.406 peixes na Bacia Amazônica, 427 anfíbios, 371 répteis, 1.300 aves e 425 mamíferos, números ainda nitidamente subestimados.<sup>[3]</sup> Apesar da sua importância, a biodiversidade vem sofrendo graves ameaças. Diversos fatores, como a degradação e perda de habitats (ocasionados principalmente pelo desmatamento), têm colocado em riscos as mais diversas espécies e todos os valores e benefícios que a natureza possui e pode proporcionar. E as mudanças climáticas atuam de maneira sinérgica a esses fatores: seus efeitos combinados ao da perda de habitat estão entre os principais determinantes da atual crise mundial de perda da biodiversidade.<sup>[2, 4]</sup> Em decorrência da crise da biodiversidade, as atuais taxas de extinção são muito elevadas: 25% das espécies são hoje consideradas ameaçadas e mais de 1 milhão estão sob risco iminente de extinção.<sup>[2, 5]</sup> A crise é tão grande que se acredita que a biodiversidade esteja passando pelo sexto evento de extinção em massa, só que dessa vez causado por ação humana.<sup>[4]</sup> Nesse contexto, a América Latina e o Caribe são regiões que vêm experimentando declínios mais acentuados nas populações animais desde 1970.

Na Amazônia, a megadiversidade biológica originada e diversificada ao longo de milhões de anos de história de evolução da paisagem, flutuações climáticas e estabelecimento de gradientes ambientais e ecológicos, se vê agora enfrentando uma dinâmica de alteração ambiental causada por ação humana muito mais intensa e rápida do que aquela em que evoluiu.<sup>[6]</sup> Assim, na Amazônia os múltiplos impactos dessas mudanças são cada vez mais frequentes e facilmente observáveis. Por exemplo, a partir de

registros do nível do rio Negro realizados em Manaus desde 1902, pesquisadores verificaram que, no início do século 20, cheias acima da cota de emergência (29 metros) e secas extremas ocorriam somente a cada 20 anos.<sup>[7]</sup> No entanto, mais recentemente, cheias intensificadas têm sido registradas a cada quatro anos e secas podem acontecer em intervalos tão curtos quanto dois anos. As maiores cheias do Rio Negro em Manaus ocorreram a partir de 2008. Em 2021, por exemplo, o nível do Rio Negro em Manaus alcançou os 30,02 metros, sendo a maior cheia de sua

*“Temperaturas mais quentes, eventos climáticos extremos mais frequentes e imprevisíveis (como calor e frio extremos, chuvas intensas, mudanças no nível dos oceanos e nos padrões de cheia, seca e vazante dos rios) colocam em risco os ecossistemas, as espécies da biodiversidade e a própria sobrevivência da humanidade.”*



**Figura 2. Répteis e anfíbios são grupos particularmente vulneráveis às mudanças climáticas. À exemplo da diversidade de espécies amazônicas, temos: a) lagarto *Kentropyx pelviceps*, comumente conhecido como calango ou chicote-da-floresta; e b) sapo *Rhinella gr. margaritifera*, conhecido popularmente como sapo-folha.**

(Fonte: Fotos de Jordana Ferreira, realizadas durante expedições de campo do LEEVI na Amazônia, 2022.)

história desde o início dos registros. Do mesmo modo, surpreendendo as expectativas, foi registrada seca histórica no ano de 2023, quando o rio Negro atingiu 12,70 metros em 26 de outubro de 2023, em meio a um cenário desolador de emergência climática na Amazônia, ocasionada por efeitos acumulados do fenômeno *El Niño* e das mudanças climáticas globais. Em outubro de 2023, a qualidade do ar de Manaus foi considerada umas das piores do mundo.

Os impactos atingiram também a biodiversidade da região. Como exemplo, centenas de mamíferos aquáticos (como botos e tucuxis) foram encontrados mortos em virtude do baixo nível dos rios e da temperatura da água, que alcançou 40 °C, como registrado no Lago Tefé, pelo

Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá. Igualmente, foram observados diversos eventos de alta mortalidade de peixes, jacarés e inviabilidade de ovos de quelônios nas praias.

Esses impactos diretos são bastante chocantes, mas não são os únicos que podem afetar os organismos. Na verdade, diversos impactos indiretos, por exemplo, sobre o fenótipo (por exemplo, morfologia, comportamento, fisiologia) e condição genética dos organismos (por exemplo, diversidade genética total e adaptativa sob seleção ambiental) podem afetar suas dinâmicas populacionais e sobrevivência diferencial e assim ter repercussão sobre os riscos de extinção de populações locais e sobrevivência das espécies.

## Herpetofauna: anfíbios e répteis no centro do debate

As temperaturas ambientais são essenciais para diversos aspectos da vida animal, influenciando a alimentação, reprodução e sobrevivência dos organismos. Isso é verdade em especial para animais ectotérmicos que, apesar de conseguirem controlar comportamentalmente suas temperaturas corpóreas movendo-se entre sol e sombra, dependem diretamente das condições ambientais para manter suas temperaturas internas dentro dos limites considerados adequados para a sobrevivência. Justamente por essa forte dependência de condições ambientais locais, organismos ectotérmicos são bastante suscetíveis às

alterações climáticas. Assim, pode-se dizer que apesar da aceleração das mudanças climáticas afetarem todas as formas de vida, alguns grupos são considerados mais vulneráveis, como os anfíbios e os répteis (coletivamente conhecidos como herpetofauna).<sup>[8]</sup>

A Amazônia abriga uma das maiores diversidades de espécies de anfíbios e répteis em comparação a outras localidades do mundo <sup>[9, 10]</sup> (Figura 2). Estudos recentes mostram ainda que existem muitas espécies de anfíbios e répteis a serem descobertas no bioma, e que o Brasil é o país com maior chance de descoberta de novas espécies desses grupos no mundo todo.<sup>[11]</sup>

Levantamentos globais indicam que os anfíbios e os répteis estão entre as espécies e a América do Sul entre as regiões com maiores riscos estimados de extinção causada pelas mudanças climáticas.<sup>[8]</sup> No entanto, ainda existem relativamente poucos estudos que abordem a vulnerabilidade destas espécies às alterações climáticas, menos ainda estudos integrativos sobre os diversos aspectos envolvidos nas respostas das espécies e suas chances de lidar com condições climáticas estressantes do Antropoceno. Felizmente, ao longo dos últimos anos, diversos cientistas e grupos de pesquisa tem atuado incessantemente para incrementar o conhecimento quanto aos possíveis impactos e possíveis respostas das mais diversas espécies de anfíbios e répteis às mudanças climáticas, tanto globalmente quanto no Brasil e na Amazônia em específico, dentre os quais está incluído o [Laboratório de Ecologia e Evolução de Vertebrados do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia \(LEEVI\)](#).

## Pesquisas integrativas e a biologia das mudanças climáticas

O campo da Biologia das Mudanças Climáticas busca compreender os mecanismos envolvidos nas respostas e os impactos diretos e indiretos das mudanças climáticas nas diversas espécies e populações naturais. Essa ciência também visa entender quais são os principais fatores biológicos e ambientais que conferem vulnerabilidade às espécies, seja aumentando seus riscos de extinção ou conferindo a elas potenciais adaptativos para escapar dos efeitos negativos das mudanças climáticas.<sup>[12]</sup>

Compreender as respostas das espécies às mudanças climáticas e à perda de habitats é extremamente importante

para a conservação da biodiversidade a longo prazo. A complexidade de processos envolvidos demanda que as pesquisas integrem diferentes fontes de informações, métodos e abordagens para a melhor compreensão dos fenômenos.<sup>[13]</sup> Essas pesquisas são conhecidas como integrativas e podem, por exemplo, incorporar informações sobre fisiologia, genética, plasticidade e adaptações locais para entender as possíveis respostas da biodiversidade às mudanças climáticas.<sup>[14-16]</sup>

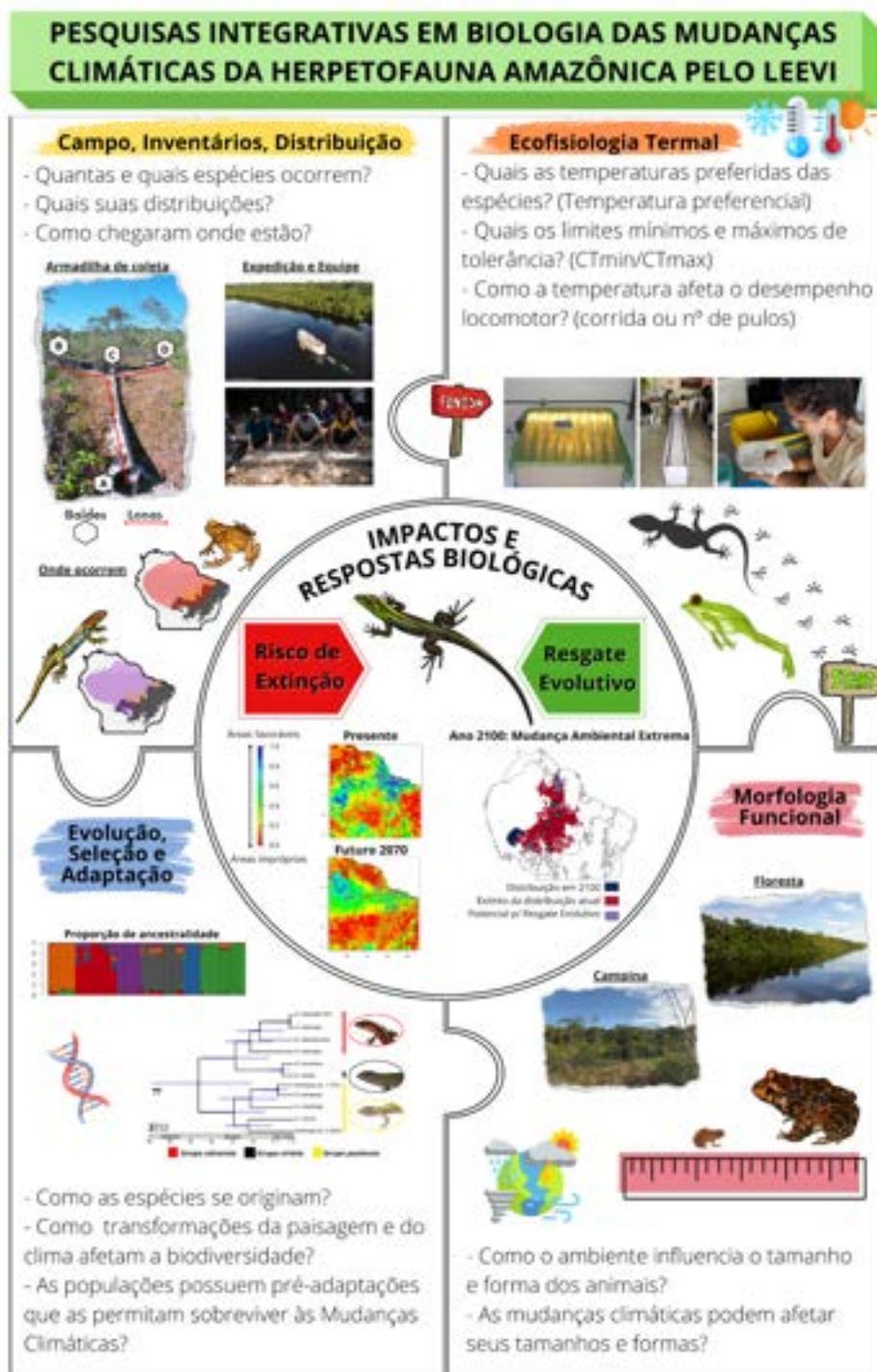
Através do uso de pesquisas ecológicas e evolutivas integrativas, o LEEVI se dedica a estudar os impactos de mudanças climáticas e ambientais históricas e contemporâneas sobre espécies e comunidades biológicas da herpetofauna da Amazônia e zonas de transição, além de possíveis ações para mitigar os riscos de extinção de espécies e

*“Compreender as respostas das espécies às mudanças climáticas e à perda de habitats é extremamente importante para a conservação da biodiversidade em longo prazo.”*

promover a conservação dessa enorme diversidade biológica (Figura 3).

As pesquisas utilizam diversas abordagens de coleta, análise e interpretação de dados biológicos e socioambientais. Na maioria das situações, as respostas dos organismos aos ambientes em mudanças são complexas, exigindo a formulação de boas e refinadas perguntas, identificação dos locais adequados para os estudos, coleta de dados em diferentes contextos (campo, laboratório, fisiologia, molecular, etc.) e, principalmente, a integração entre abordagens complementares. Essa integração entre diferentes campos dos saberes fornece estimativas biologicamente mais realistas sobre os padrões de diversificação, vulnerabilidade e sobre quais espécies e/ou regiões geográficas possuem maior potencial adaptativo de superar condições estressantes, fundamentais para prever modelos mais confiáveis quanto às respostas dos organismos às mudanças ambientais e elaborar recomendações para a conservação da sociobiodiversidade. Veja a seguir alguns exemplos de pesquisas desenvolvidas:

- **Ecológicas e evolutivas:** são



**Figura 3. Representação esquemática de como são realizadas pesquisas integrativas em Biologia das Mudanças Climáticas pelo LEEVI, com foco em anfíbios e répteis da Amazônia. Similar a um quebra-cabeças, a pesquisa é realizada em várias etapas: 1) Campo, inventários e distribuição; 2) Ecofisiologia termal; 3) Morfologia funcional; e 4) Evolução, seleção e adaptação. Ao centro, alguns resultados de modelagens preditivas integradas do lagarto *Kentropyx calcarata*, realizado por integrantes do LEEVI.**

(Fonte: Adaptado de material produzido no Projeto BioClimAmazônia “Popularizando as múltiplas dimensões dos impactos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade amazônica junto à comunidade amazônica” do LEEVI – Programa Biodiversa/FAPEAM)

aquelas em que inventários da sociobiodiversidade indicam as espécies de anfíbios e répteis que ocorrem em uma determinada área (incluindo as remotas e/ou as

de interesse de integração com comunidades humanas), assim como são coletadas amostras biológicas e dados sobre a ecologia das mesmas. Essas pesquisas contribuem para a caracterização dos níveis de diversidade biológica de uma região, seus usos e interações humanas, além da coleta e caracterização do conhecimento ecológico e evolutivos sobre as diversas espécies existentes.

- **Funcionais:** são aquelas baseadas em experimentação, para obtenção de dados de atributos fisiológicos, fenotípicos e comportamentais, parâmetros que contribuem para a compreensão das relações entre os organismos e o meio em que vivem. Por exemplo: através do uso de dados de fisiologia termal e hídrica das espécies (como as temperaturas preferenciais, limites críticos mínimos e máximos, desempenho locomotor em incrementos de temperaturas) para quantificar a sensibilidade funcional e assim estimar vulnerabilidade e riscos de extinção.
- **Coleções biológicas:** utilizam os acervos das coleções científicas como repositórios (ou bibliotecas) de testemunhos da biodiversidade amostrados em condições naturais em um determinado local e tempo. Esse material é depositado em acervos *ex-situ* de coleções científicas biológicas e museus de história natural, verdadeiros patrimônios da nossa biodiversidade. Por exemplo, pesquisas com base em exemplares de coleções científicas permitem identificar e descrever novas espécies, identificar infecções virais ou até mesmo observar o acúmulo de poluentes e os impactos das mudanças climáticas na morfologia (como o tamanho e forma do corpo e membros) dos organismos ao longo de séries históricas. Para saber mais sobre as coleções biológicas do INPA acesse o [Portal de Coleções do INPA](#).
- **Genômica populacional e genética da conservação:** utilizam tecnologias de ponta para realizar sequenciamento genético do DNA dos organismos (pequenas porções ou mesmo o genoma completo) para investigar diversos aspectos quanto à influência do ambiente em gerar padrões de diversidade genética e em selecionar padrões de diversificação, especiação e adaptação das

populações naturais e espécies. Por exemplo, é possível inferir métricas que representam importantes aspectos da saúde e sobrevivência dos organismos em condições naturais, como diversidade genética, nível de heterozigosidade, tamanhos populacionais, fluxo gênico e conectividade de populações e diversidade genômica sob seleção ambiental e climática.

- **Modelagens preditivas:** usam estatísticas obtidas pelas demais linhas de pesquisa (por exemplo: parâmetros ecológicos, fisiológicos, evolutivos) para prever resultados quanto às distribuições e respostas das

*“O controle do desmatamento é a alternativa mais viável para aumentar as chances de resgate evolutivo naturais das populações de lagartos amazônicos frente às mudanças climáticas.”*



Figura 4. Aproximar a população é essencial para o enfrentamento coletivo das mudanças climáticas. Na imagem, duas fotos realizadas durante eventos de popularização científica e educação ambiental em comunidades do interior do Amazonas, iniciativa do Projeto BioClimAmazônia. Dentre as ações do projeto, são realizadas oficinas da herpetofauna amazônica e atividades educativas com jogos, livros, vídeos e atividades de colorir no tema.

(Fonte: Fotos de Jordana Ferreira, 2023 - <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/39613/> e <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/39612/>)

espécies em cenários climáticos futuros. Haverão espécies 'ganhadoras' e 'perdedoras' na corrida contra as mudanças climáticas? A integração das diferentes fontes de informação busca responder essas perguntas: quais espécies serão mais ou menos impactadas, seus principais atributos biológicos, quais terão suas distribuições retraídas, expandidas e quais experimentarão maiores riscos de extinção local? Esses modelos preditivos podem apoiar a formulação de estratégias de conservação aperfeiçoadas para mitigar impactos negativos na biodiversidade. Na maioria das vezes, o resultado que se deseja prever está no futuro e não pode ser afirmado com certeza.

Assim a modelagem preditiva pode ser aplicada para aumentar a confiança e acurácia em políticas públicas baseadas em dados científicos, mesmo para eventos ainda desconhecidos.

- **Educação ambiental e popularização científica:** as interconexões entre as crises da emergência climática e da perda de espécies ainda são pouco conhecidas pela população como um todo.<sup>[17]</sup> Assim, educação ambiental e divulgação científica junto à sociedade e aos tomadores de decisão são urgentes para popularizar o conhecimento gerado e aumentar a consciência pública quanto à importância de ações para mitigar essas crises para a biodiversidade e as gerações futuras. Além disso, as visões das comunidades e atores locais, protagonistas e detentores do conhecimento e da valorização da biodiversidade, devem ser incorporadas na elaboração de perguntas e desenvolvimento das pesquisas. Por exemplo, análises de discurso e ações de extensão e popularização desenvolvidas junto a comunidades tradicionais ribeirinhas e indígenas são essenciais. Afinal, são essas pessoas que mantêm a floresta em pé e contribuem para a sensibilização e disseminação quanto às emergências climáticas e seus impactos na biodiversidade. [Assista o resumo](#) de uma das ações de educação ambiental e popularização científica desenvolvidas pelo LEEVI/Projeto BioClimAmazônia,

em comunidades indígenas e ribeirinhas do Rio Cuieiras na RDS Puranga-Conquista, no Amazonas.

## Principais resultados para a herpetofauna amazônica

Os resultados obtidos pela comunidade científica para a herpetofauna, em geral, e pelos estudos eco-evolutivos do LEEVI têm contribuído para a compreensão das múltiplas dimensões do conhecimento quanto aos impactos das mudanças climáticas para a herpetofauna amazônica.

Os impactos das mudanças climáticas na herpetofauna são diversos e podem ser tanto diretos quanto indiretos,<sup>[18]</sup> mas os principais são aqueles que causam a redução de suas populações, o que pode levar estes animais à extinção local e mesmo a extinção da espécie como um todo. Por exemplo, revisões do tipo metanálises em amplas escalas geográficas (global) e evolutivas (grandes grupos taxonômicos) encontraram que mais de 65% dos estudos avaliados reportaram efeitos das mudanças climáticas em espécies de anfíbios e répteis, sendo que em metade desses foram encontrados declínios populacionais ou reduções das amplitudes de distribuição.<sup>[19]</sup> No entanto, o estudo mostra vieses quanto à geografia (maioria dos estudos foram conduzidos na Europa e América do Norte), taxonomia (só 1% das espécies da América do Sul haviam sido estudadas quando o levantamento foi feito) e questões de pesquisa (por exemplo: falta de inclusão de hipóteses alternativas além do efeito climático; métodos usados), dificultando conclusões globais.<sup>[19]</sup> Isso tem reforçado a necessidade de mais estudos em escala regional focados em espécies de regiões complexas, megadiversas e negligenciadas pelo campo da biologia das mudanças climáticas, como a Amazônia.

Em se tratando de lagartos, os efeitos das mudanças climáticas podem ser negativos (por exemplo, levar à perda de área de distribuição e/ou a extinção local), positivos (por exemplo, causar expansão da área de distribuição) ou neutros para espécies em todo o mundo [20] e podem acabar permitindo que espécies melhor adaptadas (ou pré-adaptadas) a condições de calor e de habitats abertos possam invadir florestas e afetar a dinâmica das comunidades biológicas <sup>[21]</sup> e mesmo levar a processos de substituição e/ou savanização herpetofaunística. Modelagens

preditivas globais com base em dados de ecofisiologia termal de várias famílias de lagartos estimaram que 4% das populações de lagartos do mundo já foram extintas devido ao aquecimento global e que as taxas de extinção local podem chegar a 39% até 2080.<sup>[22]</sup> Lagartos de regiões tropicais são considerados especialmente vulneráveis ao aquecimento global, pois experimentam temperaturas ambientais que já estão próximas ou mesmo excedem suas temperaturas ideais e desempenho máximo quando comparados a espécies de zonas temperadas.<sup>[21, 23]</sup> Assim, estudos locais e regionais são necessários para avaliar a dinâmica de espécies de regiões de áreas de transição, como entre habitats abertos e florestas.

Além disso, alguns répteis, como os quelônios continentais e marinhos, parecem ser particularmente vulneráveis às mudanças climáticas devido a características de história de vida como capacidades de dispersão limitadas e determinação sexual dependente de temperatura.<sup>[24]</sup> Nos quelônios, que são animais de casco como tartarugas e jabutis, a temperatura é responsável pela determinação sexual ao longo do desenvolvimento, ou seja, por definir se um animal será macho ou fêmea. Em

geral, baixas temperaturas produzem machos, enquanto altas temperaturas produzem fêmeas ou temperaturas extremas (altas ou baixas) resultam em fêmeas, enquanto temperaturas médias resultam em machos.<sup>[24]</sup> Logo, mudanças da temperatura do ambiente onde estão os ninhos com ovos incubados podem fazer com que nasçam mais indivíduos de um mesmo sexo em determinadas populações, tornando desproporcional a razão sexual (que é a proporção entre machos e fêmeas), causando um desequilíbrio e o declínio dessa população. Além disso, estudos indicam que a exposição prolongada dos ninhos a temperaturas extremamente altas produzem mais filhotes com anormalidades do que ninhos expostos por períodos mais curtos, assim como a sobrevivência dos filhotes diminui com o aumento da temperatura de incubação.<sup>[25]</sup>

<sup>[26]</sup> Ou seja, além de determinar o sexo, a temperatura também pode aumentar o número de filhotes com anormalidades, que pode ter impacto negativo na sobrevivência e reprodução das próximas gerações, assim como influenciar a taxa de mortalidade. Em quelônios amazônicos, espera-se que incrementos da temperatura impactem a dinâmica das

populações, concomitantemente a ameaças históricas da caça predatória para comércio desses animais para o consumo. Assim, estudos mais aprofundados sobre a relação entre a condição termal do ambiente natural e para cenários futuros, assim como estudos de aspectos da biologia e sobrevivência de quelônios são essenciais para a conservação dessas espécies. As práticas de manejo conservacionista usadas pelas comunidades tradicionais são fundamentais e podem auxiliar pesquisas nessas abordagens, as quais estão em desenvolvimento no âmbito de projetos do LEEVI e laboratórios colaboradores (Iniciativa Amazônia+10 e CNPq).

Segundo a [Lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais das espécies ameaçadas](#), também conhecida como Lista Vermelha da IUCN (em inglês, *IUCN Red List*), anfíbios são a classe de vertebrados mais ameaçada (40,7% das espécies estão globalmente ameaçadas), sendo que os efeitos continuados e previstos das mudanças climáticas são motivo de preocupação crescente, provocando 39% das deteriorações do status de conservação desde 2004, seguidas pela perda de habitat (37%).<sup>[27]</sup> Mudanças climáticas também estão associadas ao aumento de doenças e condições propensas a redução do tempo de vida dos anfíbios, como, por exemplo, nas taxas de infecção de anfíbios por fungos BD (*Batrachochytrium dendrobatidis*), também conhecido como quitrídio, considerado um importante responsável pelo declínio em massa e em escala mundial dos anfíbios.<sup>[28]</sup>

Quanto aos estudos em escala regional focados na herpetofauna da Amazônia e zonas de transição, como o ecótono Amazônia-Cerrado, as pesquisas do LEEVI e grupos de pesquisa colaboradores, indicam que muitas espécies e populações de anfíbios e répteis amazônicos são sensíveis aos efeitos do aquecimento global e correm sérios riscos de extinção local. Esse resultado foi encontrado para diversas espécies da herpetofauna com ecologias distintas e usando diferentes abordagens de modelagem preditiva com base em (i) dados de ocorrência e modelos correlativos, por exemplo para pererecas arborícolas do gênero *Pithecopus*<sup>[29]</sup> e serpentes da família Viperidae<sup>[30]</sup> e (ii) dados ecofisiológicos e modelos mecanísticos, por exemplo para o lagarto heliófilo *Kentropyx calcarata*,<sup>[31]</sup> lagartos de áreas abertas amazônicas do gênero *Cnemidophorus*<sup>[32]</sup> e inúmeras outras espécies de lagartos amazônicos.<sup>[33, 34]</sup>

Apesar disso, os resultados de modelos preditivos também indicam que algumas espécies podem ser beneficiadas pelas mudanças climáticas, expandindo suas distribuições para áreas alteradas por ação humana, indicando interações relevantes com urbanização, cidades e desmatamento. Por exemplo, encontramos esse tipo de resposta para algumas das espécies de lagartos do gênero *Cnemidophorus* [32, 35] e para lagartos *Gymnophthalmus underwoodi*, [36] ambas espécies associadas a áreas abertas amazônicas e com modo de reprodução partenogenético (quando fêmeas se reproduzem sem que haja fecundação por machos) que as confere grande capacidade de colonização de novos ambientes. Esse tipo de impacto, que em um primeiro momento talvez pudesse ser considerado "positivo", deve ser interpretado com cautela, pois espécies que se beneficiem de mudanças ambientais expandindo suas áreas de distribuição podem acabar por impactar as comunidades biológicas locais pelo favorecimento de determinadas espécies conforme as características, levando a substituições de fauna em determinadas porções da Amazônia. Além disso, os estudos indicam que mesmo espécies próximas evolutiva e ecologicamente similares podem ter respostas contrastantes quanto às suas vulnerabilidades e a como serão afetadas pelas mudanças ambientais e climáticas. Por exemplo, para o par de espécies de lagartos de áreas abertas amazônicas, *Cnemidophorus lemniscatus* e *C. cryptus*, foram estimados um aumento de 20% e uma diminuição de 44% da área adequada para ocorrência, respectivamente. [32] Assim, é essencial compreender que estudos táxon específicos (i.e., conduzidos para uma ou poucas espécies focais) não devem ser usados como exemplos para realizar generalizações para outros grupos taxonômicos e tomadas de decisão em larga escala.

Aparentemente, alguns aspectos da biologia das espécies, como associação com habitats abertos, partenogênese e urbanização, são importantes atributos que podem conferir maior resistência aos efeitos das mudanças climáticas. Porém, estudos adicionais com muitas espécies de histórias evolutivas e ecológicas distintas são essenciais para que generalizações possam ser feitas quanto aos atributos que conferem maior resiliência e potencial adaptativo e para podermos afirmar com maior confiança quais espécies sairão como "vencedoras" e "perdedoras" na corrida contra os efeitos deletérios das mudanças climáticas.

Considerando ainda outros níveis de análise da

diversidade biológica, pode-se dizer que diferentes regiões geográficas e populações/linhagens biológicas possuem vulnerabilidades e potenciais adaptativos distintos, implicando em variação intraespecífica (i.e., ao nível populacional) dos riscos de extinção de lagartos amazônicos. [31-34, 37, 38]

Utilizando abordagens espaciais que integram conjuntos de dados genômicos, de ocorrência das espécies e ambientais, foi encontrado que para algumas espécies de lagartos certas regiões do genoma dessas espécies podem estar evoluindo em resposta a pressões seletivas relacionadas ao clima. Tais achados indicam que existem várias populações de lagartos amazônicos que são localmente adaptadas a condições climáticas específicas e podem lidar melhor com a mudança ambiental ao enfrentar as mudanças climáticas futuras por meio de seleção natural e resgate genético.

Ainda que existam possibilidades de resgate evolutivo no futuro entre populações mal-adaptadas e aquelas populações adaptadas a condições climáticas mais quentes e secas para o calango da mata (*Kentropyx calcarata*), cenários extremos de aquecimento

global e desmatamento impedirão possíveis respostas adaptativas, dificultando o resgate evolutivo entre populações, implicando em uma perda elevada da diversidade biológica do grupo.<sup>[37]</sup> Por outro lado, cabe destacar que o controle do desmatamento é a alternativa mais viável para aumentar as chances de resgate evolutivo naturais das populações de lagartos amazônicos frente às mudanças climáticas.

Essas informações são essenciais para subsidiar políticas públicas de conservação da ameaçada diversidade de anfíbios e répteis frente às emergências climáticas e o desenvolvimento socioambiental sustentável, sendo fundamental que alcancem o grande público, incluindo estudantes, professores, comunitários, comunicadores e tomadores de decisão em políticas públicas de conservação, o que o laboratório tem feito através de múltiplas iniciativas de extensão e popularização científica (Figura 4).

## Perspectivas futuras

De modo geral, os estudos indicam que a integração de dados funcionais e genômicos permite acessar processos usualmente negligenciados em Biologia das Mudanças

Climáticas e aprimorar modelos preditivos quanto aos riscos e possíveis respostas das espécies da herpetofauna Amazônica e Neotropical. Ainda, ao incorporar informação funcional (fisiologia) e genômica (adaptação local), os modelos preditivos de distribuição futura são mais precisos e tendem a recuperar perdas menos extensas porque levam em consideração importantes processos para respostas que mitigam os impactos das mudanças climáticas globais. Em conjunto, esses estudos apontam a herpetofauna como referencial de biodiversidade para entender e mitigar os impactos erosivos das mudanças climáticas sobre espécies e populações naturais amazônicas através de novas abordagens eco-evolutivas e socioambientais integrativas.

Em conjunto, os resultados representam grandes avanços para o entendimento de como as mudanças climáticas poderão impactar algumas das espécies e comunidades biológicas de anfíbios e répteis da Amazônia e o que pode ser feito para frear impactos danosos a essa altíssima e única biodiversidade.

No entanto, é importante ressaltar que novos estudos avaliando múltiplas espécies com diferentes ecologias (em diferentes escalas biológicas e espaciais) e testes adicionais são necessários para avaliar a generalidade desses achados e identificar quais características funcionais conferem vulnerabilidade e resistência às espécies, nos permitindo identificar espécies-chave dos efeitos climáticos. Assim, ainda que se esteja trilhando um importante percurso no avanço e popularização do conhecimento, há muito a se fazer em termos científicos e conservacionistas.

Para minimizar os riscos de extinção das espécies, é essencial que estratégias de conservação que possibilitem a persistência das espécies a longo prazo contemplem essa variação interespecífica e populacional garantindo, por exemplo: (i) a conservação de populações em regiões climaticamente diferentes (e por vezes até contrastantes) para as quais haja adaptação local, (ii) corredores de conectividade entre populações mais vulneráveis e populações mais resilientes para possibilitar o resgate evolutivo e ecológico entre regiões mais e menos vulneráveis (por exemplo, regiões central e sul da Amazônia) a fim de salvaguardar a continuidade de processos ecológicos e evolutivos essenciais para a sobrevivência das espécies; (iii) garantir a sustentabilidade das práticas de manejo de ninhos e populações de quelônios amazônicos.

Entender sobre ações de mitigação desses impactos é

abrir janelas de oportunidade para a conservação das espécies de microrganismos, animais e plantas que mantêm a enorme diversidade e complexidade da Amazônia e os meios de sobrevivência para suas populações tradicionais e diversas outras ao longo do planeta. A distopia pode voltar a ser distopia improvável e parar de assombrar nosso presente e a utopia de um futuro melhor, mas ações urgentes de controle do desmatamento e aquecimento global para que os cenários mais extremos não sejam atingidos são mandatórias para isso.

### **Agradecimentos**

*Agradecemos a todo(a)s o(a)s integrantes e colaboradore(a)s do Laboratório de Ecologia e Evolução de Vertebrados do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (LEEVI) pela parceria nas atividades e pesquisas desenvolvidas; às agências de fomento que apoiam a execução dos nossos projetos, em especial a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (Fapeam) pelo apoio ao projeto BioClimAmazônia, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à FUNBIO e ao Instituto Serrapilheira. Para saber mais e acessar materiais didáticos e educativos na temática de Mudanças Climáticas e Biodiversidade, visite nosso [site](#) e nosso [Instagram](#).*

**Fernanda P. Werneck** é Pesquisadora Titular do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), onde atua como líder de grupo de pesquisas CNPq e LEEVI, coordenadora do Programa de Coleções Científicas e Biológicas e curadora da Coleção de Anfíbios e Répteis.

**Jordana G. Ferreira** é pesquisadora bolsista de Apoio à Difusão do Conhecimento do CNPq associada ao LEEVI, Programa de Coleções Científicas Biológicas, Coordenação de Biodiversidade, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

**Felipe Zanusso** é pesquisador Bolsista de Capacitação Institucional CNPq associado ao LEEVI, Programa de Coleções Científicas Biológicas, Coordenação de Biodiversidade, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

## Referências

- [1] IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2021.
- [2] IPBES. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Díaz S, Settele J, E.S. ESB, Ngo HT, M. Guèze, Agard J, et al., editors. Bonn, Germany: IPBES secretariat; 2019. 56 pages p.
- [3] Zapata-Ríos G, Andreazzi CS, Carnaval AC, C DCR, F D, A F, et al. Chapter 3: Biological Diversity and Ecological Networks in the Amazon. I. In: Nobre C EA, Anderson E, Roca Alcazar FH, Bustamante M, Mena C, Peña-Claros M, Poveda G, Rodriguez JP, Saleska S, Trumbore S, Val AL, Villa Nova L, Abramovay R, Alencar A, Rodríguez Alzza C, Armenteras D, Artaxo P, Athayde S, Barretto Filho HT, Barlow J, Berenguer E, Bortolotto F, Costa FA, Costa MH, Cuvi N, Fearnside PM, Ferreira J, Flores BM, Frieri S, Gatti LV, Guayasamin JM, Hecht S, Hirota M, Hoorn C, Josse C, Lapola DM, Larrea C, Larrea-Alcazar DM, Lehm Ardaya Z, Malhi Y, Marengo JA, Melack J, Moraes R M, Moutinho P, Murmis MR, Neves EG, Paez B, Painter L, Ramos A, Rosero-Peña MC, Schminck M, Sist P, ter Steege H, Val P, van der Voort H, Varese M, Zapata-Ríos G (Eds). editor. Amazon Assessment Report 2021 United Nations Sustainable Development Solutions Network. New York, USA. : Available from <https://www.theamazonwewant.org/spa-reports/>; 2021.
- [4] Ceballos G, Ehrlich PR, Barnosky AD, García A, Pringle RM, Palmer TM. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances*. 2015;1(e1400253):1-5.
- [5] IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-2. <https://www.iucnredlist.org>. Accessed on 28 November 2023. 2022 [
- [6] Albert JS, Carnaval AC, Flantua SGA, Lohmann LG, Ribas CC, Riff D, et al. Human impacts outpace natural processes in the Amazon. *Science*. 2023;379(6630):eabo5003.
- [7] Barichivich J, Gloor E, Peylin P, Brienen RJW, Schöngart J, Espinoza JC, et al. Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation. *Science Advances*. 2018;4(9):eaat8785.
- [8] Urban MC. Accelerating extinction risk from climate change. *Science*. 2015;348(6234):571-3.
- [9] Frost DR. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 6.2 (November 28, 2023). Electronic Database accessible at <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php>. American Museum of Natural History, New York, USA. doi.org/10.5531/db.vz.0001 2023.
- [10] Uetz P, Freed P, Aguilar R, F. R, Kudera J, Hosek J. The Reptile Database. <http://www.reptile-database.org>, accessed November 28, 2023. 2023.
- [11] Moura MR, Jetz W. Shortfalls and opportunities in terrestrial vertebrate species discovery. *Nature Ecology & Evolution*. 2021;5:631-9.
- [12] Pinsky ML, Comte L, Sax DF. Unifying climate change biology across realms and taxa. *Trends Ecol Evol*. 2022;37(8):672-82.
- [13] Razgour O, Taggart JB, Manel S, Juste J, Ibáñez C, Rebelo H, et al. An integrated framework to identify wildlife populations under threat from climate change. *Molecular Ecology Resources*. 2017;18:18-31.
- [14] Fox RJ, Donelson JM, Schunter C, Ravasi T, Gaitán-Espitia JD. Beyond buying time: the role of plasticity in phenotypic adaptation to rapid environmental change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2019;374(1768):20180174.
- [15] Peterson ML, Doak DF, Morris WF. Incorporating local adaptation into forecasts of species' distribution and abundance under climate change. *Global Change Biol*. 2019;25:775-93.
- [16] Waldvogel A, Feldmeyer B, Rolshausen G, Exposito-Alonso M, Rellstab C, Kofler R, et al. Evolutionary genomics can improve prediction of species' responses to climate change. *Evolution Letters*. 2020;4:4-18.
- [17] Artaxo P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. *USP Estudos Avançados*. 2020;34(100):53-66.
- [18] Taylor EN, Diele-Viegas LM, Gangloff EJ, Hall JM, Halpern B, Massey MD, et al. The thermal ecology and physiology of reptiles and amphibians: A user's guide. *Journal of Ecological and Integrative Physiology*. 2020:1-32.
- [19] Winter M, Fiedler W, Hochachka WM, Koehncke A, Meiri S, De la Riva IJ. Patterns and biases in climate change research on amphibians and reptiles: a systematic review. *Royal Society Open Science*. 2016;3(160158).
- [20] Diele-Viegas LM, Figueroa RT, Vilela B, Rocha CFD. Are reptiles toast? A worldwide evaluation of Lepidosauria vulnerability to climate change. *Clim Change*. 2020;159(4):581-99.
- [21] Huey RB, Deutsch CA, Tewksbury JJ, Vitt LJ, Hertz PE, Pérez HJA, et al. Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*. 2009;276:1939-48.
- [22] Sinervo B, Méndez-de-la-Cruz F, Miles DB, Heulin B, Bastiaans E, Cruz MV-S, et al. Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science*. 2010;328:894-9.
- [23] Huey RB, Kearney MR, Krockenberger A, Holthum JAM, Jess M, Williams SE. Predicting organismal vulnerability to climate warming: roles of behaviour, physiology and adaptation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*. 2012;367:1665-79.
- [24] Butler CJ. A review of the effects of climate change on chelonians. *Diversity*. 2019;11(8):138.
- [25] Laloë J-O, Cozens J, Renom B, Taxonera A, Hays GC. Climate change and temperature-linked hatchling mortality at a globally important sea turtle nesting site. *Global Change Biol*. 2017;23(11):4922-31.
- [26] Telemeco RS, Warner DA, Reida MK, Janzen FJ. Extreme developmental temperatures result in morphological abnormalities in painted turtles (*Chrysemys picta*): a climate change perspective. *Integrative Zoology*.

2013;8(2):197-208.

- [27] Luedtke JA, Chanson J, Neam K, Hobin L, Maciel AO, Catenazzi A, et al. Ongoing declines for the world's amphibians in the face of emerging threats. *Nature*. 2023;622(7982):308-14.
- [28] Scheele BC, Pasmans F, Skerratt LF, Berger L, Martel A, Beukema W, et al. Amphibian fungal panzootic causes catastrophic and ongoing loss of biodiversity. *Science*. 2019;363(6434):1459-63.
- [29] Bandeira LN. O papel da evolução de nichos na diversificação e potenciais impactos das alterações climáticas nas pererecas Neotropicais do gênero *Pithecopus* (Anura: Phyllomedusidae) [Doutorado/PhD]. Manaus, AM, Brasil: PPG-Ecologia. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia; 2021.
- [30] Espíndola WA. Evolução de nichos e os efeitos de mudanças climáticas na distribuição e padrões de diversidade de serpentes Crotalinae (Bothrops e Bothrocophias, Squamata, Viperidae) [Mestrado/Masters]. Manaus, AM, Brasil: PPG-Ecologia. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia; 2018.
- [31] Pontes-da-Silva E, Magnusson WE, Sinervo B, Caetano GH, Miles DB, Colli GR, et al. Extinction risks forced by climatic change and intraspecific variation in the thermal physiology of a tropical lizard. *J Therm Biol*. 2018;73:50-60.
- [32] Martins LF. Abordagem eco-evolutiva para entender a influência das mudanças do clima e da paisagem em lagartos de formações abertas amazônicas [Doutorado/PhD]. Manaus, AM, Brasil: PPG-Ecologia. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia; 2021.
- [33] Diele-Viegas LM, Werneck FP, Rocha CFD. Climate change effects on population dynamics of three species of Amazonian lizards. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*. 2019;236:110530.
- [34] Diele-Viegas LM, Vitt LJ, Sinervo B, Colli GR, Werneck FP, Miles DB, et al. Thermal physiology of Amazonian lizards (Reptilia: Squamata). *PLoS One*. 2018;13(3):e0192834.
- [35] Martins LF, Choueri EL, Oliveira AFS, Domingos FMCB, Caetano GHO, Cavalcante VHGL, et al. Whiptail lizard lineage delimitation and population expansion as windows into the history of Amazonian open ecosystems. *Syst Biodivers*. 2021;19(8):957-75.
- [36] Mendonça LR. Os efeitos das alterações ambientais sobre a distribuição e fenótipo de um lagarto partenogenético na Amazônia Central. Manaus, AM, Brasil: PPG-Zoologia. Universidade Federal do Amazonas; 2023.
- [37] Azevedo JAR, Faurby S, Colli GR, Antonelli A, Werneck FP. Deforestation limits evolutionary rescue under climate change in Amazonian lizards. Pre-print Research Square Doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3097479/v1>. 2023.
- [38] Yves A. Genômica da adaptação e vulnerabilidade frente às mudanças climáticas em lagartos ombrófilos na Amazônia. Manaus, AM, Brasil: PPG-Ecologia. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia; 2023.



Capa. A grande diversidade de fungos endofíticos é fundamental para o funcionamento de ecossistemas.  
(Foto: Produção dos autores)

# Fungos ocultos dos biomas brasileiros

*Microrganismos desempenham funções ecológicas e contribuem para a diversidade nos biomas brasileiros*

Patricia Cardoso Cortelo, Jefferson Brendon Almeida dos Reis, Denise Oliveira Guimarães, Fernanda Oliveira das Chagas, Guilherme Afonso Kessler de Andrade, Jadson Bezerra e Thiago de Roure Bandeira de Mello

## Resumo

O Brasil possui seis biomas que compreende a vasta biodiversidade encontrada no país. São eles a Amazônia, a Caatinga, o Cerrado, a Mata Atlântica, o Pampa e o Pantanal. Cada bioma possui características únicas em termos de fauna, flora, clima e características físicas, que proporcionam ambientes exclusivos onde se abrigam espécies endêmicas, sejam elas plantas ou animais. Nas espécies vegetais, por sua vez, existe um mundo oculto: o dos fungos endofíticos – seres microscópicos que residem no interior dos tecidos vegetais sem causar doenças, convivendo de forma harmoniosa com seus hospedeiros. Esses microrganismos desempenham diversas funções ecológicas em suas plantas hospedeiras e contribuem substancialmente para a biodiversidade nos biomas brasileiros. Portanto, conhecer como as comunidades fúngicas se estruturam e interagem nos diferentes ecossistemas é essencial para a compreensão do papel desses microrganismos nos biomas.

**Palavras-chaves:** Microrganismos; Fungos endofíticos; Biomas brasileiros

## Introdução

O Brasil é um país conhecido por sua vasta biodiversidade distribuída entre seis biomas: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. Esses, por sua vez, são regiões extensas — milhares de quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>) — com características físicas (como solo e altitude), clima, hidrografia, fauna, flora e tipos de vegetação (fitofisionomias) distintas entre si e relações peculiares entre os seres vivos que os habitam.<sup>[1]</sup>

Como são muito extensos, ainda é possível identificar diversos tipos de vegetação em um mesmo bioma. Contudo, os limites entre biomas e tipos de vegetação são fluidos e há misturas nas regiões de contato, ou seja, plantas de um bioma podem aparecer em outro, assim como animais transitam entre eles. Há também algumas espécies (animais e vegetais) de ocorrência exclusiva - as chamadas endêmicas. As espécies vegetais, por sua vez, representam um importante habitat para os microrganismos endofíticos (Figura 1).

## Microrganismos e suas interações

Um aspecto interessante dos microrganismos é sua grande diversidade, a qual tem sido cada vez mais explorada, visto que sua importância para o funcionamento de ecossistemas se torna mais evidente. Eles interagem com o meio ambiente e desempenham inúmeras funções, atuando na degradação de produtos naturais complexos (como a lignina) e substâncias sintéticas (pesticidas e corantes), participando em ciclos biogeoquímicos, fluxo de energia e nutrientes.<sup>[2,3]</sup>

Em seus nichos ecológicos, os microrganismos também podem estabelecer uma série de relações ecológicas com outros organismos, incluindo espécies vegetais. Essas relações podem ser desarmônicas, onde pelo menos um dos organismos é afetado negativamente; neutra, onde nenhum dos organismos envolvidos é afetado; e harmoniosa, onde pelo menos um dos organismos é beneficiado.<sup>[2]</sup> Um exemplo é a relação ecológica encontrada entre um fungo endofítico e sua planta hospedeira: o fungo coloniza o interior do tecido vegetal sem causar sintoma de doença e auxilia direta e indiretamente nos processos biológicos e fisiológicos de sua planta hospedeira.

Os mecanismos de interação fungos endofíticos-plantas hospedeiras são complexos e evoluíram ao longo do

tempo de coexistência destes organismos. Assim, a secreção de compostos químicos pela planta atrai os fungos e dá-se início ao processo de colonização com a secreção de enzimas e metabólitos especializados para driblar os mecanismos de defesa da planta.<sup>[4]</sup> Além dos fungos endofíticos, os fungos micorrízicos, as rizobactérias e bactérias endofíticas também tem sido alvo de estudos.<sup>[2]</sup>

## Fungos endofíticos

Fungos endofíticos são microrganismos que, durante parte ou todo o seu ciclo de vida, residem no interior dos tecidos vegetais (frutos, flores, folhas, caules, raízes e sementes) sem causar qualquer dano aparente à planta hospedeira. Essa oferece ao fungo um habitat estável com baixas variações nas condições ambientais (umidade, pH, temperatura) e nutrientes (açúcares e aminoácidos) enquanto o fungo produz compostos que

*“Os microrganismos são parte essencial da vasta biodiversidade brasileira e muitos estão adaptados para viver em associações simbióticas com outros organismos.”*

podem auxiliar nas funções fisiológicas e ecológicas das plantas, promovendo o crescimento, aumentando sua aptidão em condições de temperaturas extremas, seca, salinidade e protegendo-a de insetos, herbívoros e patógenos.<sup>[2,3]</sup>

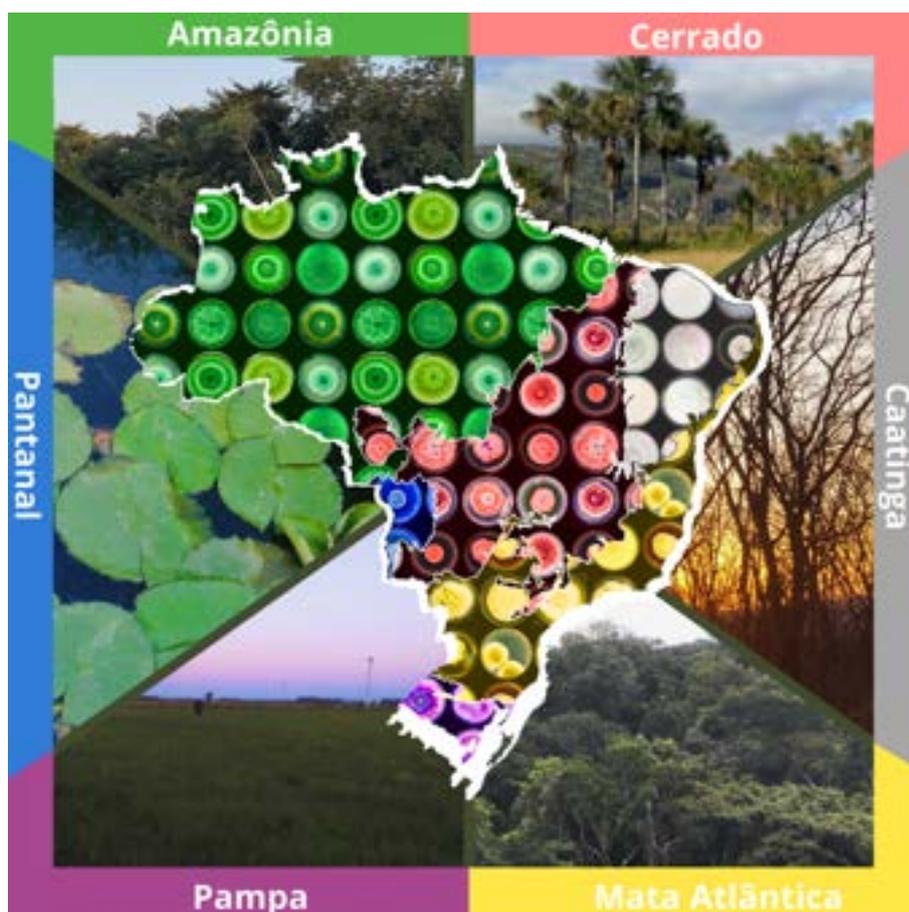
O microbioma endofítico, conjunto de espécies fúngicas que colonizam os tecidos internos dos vegetais, varia em função da espécie hospedeira, tipo de tecido/órgão, condições ambientais, idade da planta e interações com outros organismos (Figura 2); ou seja, é dinâmico e apresenta ampla plasticidade taxonômica e funcional.

## Fungos endofíticos distribuídos entre os biomas brasileiros

### Amazônia

No passado, a Amazônia cobria em torno de 50% do Brasil; entretanto, por volta de 18% da área original já foi desmatada.<sup>[1]</sup> Está situada na região Norte do país, numa área de baixa altitude, alta umidade e altos índices pluviométricos (ou seja, chove muito). Grande parte dela tem uma vegetação bem fechada.<sup>[1]</sup> Possui mais de 14.500 espécies vegetais catalogadas em suas diferentes fitofisionomias.<sup>[5]</sup>

Estudos dos seus



**Figura 1. Representação dos biomas brasileiros e fungos endofíticos isolados.** (Produção dos autores)

microrganismos são ainda tímidos se comparado aos seus potenciais biodiverso, sendo os destaques para os organismos macroscópicos, os conhecidos cogumelos, usados no desenvolvimento social e econômico da região.<sup>[6]</sup> Há poucos relatos sobre os fungos endofíticos. O extrato do fungo endofítico *Aspergillus* sp., isolado das amêndoas de *Bertholletia excelsa* Humn & Bonlp, demonstrou potencial atividade larvicida contra *Aedes aegypti*, mosquito vetor da dengue.<sup>[7]</sup> Novos metabólitos foram isolados do fungo *Diaphorte* sp.<sup>[8]</sup> e, ainda, metabólitos com potencial atividade antimicrobiana, e produção de enzimas hidrolíticas para a degradação de biofilme de *Staphylococcus aureus*.<sup>[9]</sup>

### Caatinga

A Caatinga correspondia a mais ou menos 11% do país, localizada na região Nordeste. Tem um clima semiárido, com chuvas irregulares e uma média de precipitação de 620 mm por ano, com grande variação em torno dessa média.<sup>[1]</sup> A Caatinga tem por volta de 6.300 espécies vegetais já catalogadas e perdeu por volta de 42% de sua área.<sup>[5]</sup>

A diversidade de fungos endofíticos desse bioma tem sido investigada, com a descrição de novas espécies, como *Diaporthe caatingaensis* e *Toxicocladosporium cacti*, isoladas de cactos da Caatinga. Novidades taxonômicas tem sido descrita por pesquisadores da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e da Universidade Federal de Goiás (UFG), destacando o potencial de novas espécies do bioma. Além do inventário da diversidade de fungos, há interesse no potencial biotecnológico dos endófitos, seja para produção de enzimas (inclusive anticancerígena) e antimicrobianos (contra bactérias e fungos patogênicos humanos, animais e de plantas).<sup>[10,11]</sup> Outras espécies de plantas da Caatinga têm sido estudadas, verificando-se uma grande diversidade de fungos com potencial biotecnológico e ressaltando a importância de conservação do bioma para a descoberta de possíveis serviços ecossistêmicos.<sup>[10,11]</sup>

## Cerrado

O Cerrado ocupava em torno de 24% do país, no chamado Planalto Central. Possui uma estação chuvosa e uma seca bem definidas, localiza-se em altas altitudes e sua vegetação está dividida entre as florestais, as savânicas e as campestres.<sup>[1]</sup> Grande parte do bioma está adaptada ao fogo, sendo comum árvores com cascas espessas ou plantas capazes de rebrotar das raízes após a queima (dentre outras adaptações).<sup>[12]</sup> O Cerrado faz fronteira com quase todos os biomas do país, exceto o Pampa. Nele, foram catalogadas mais de 13.900 espécies vegetais.<sup>[5]</sup> É um dos dois biomas brasileiros considerados *hotspot*<sup>[13]</sup> de biodiversidade (Mata Atlântica é o outro), assim definido por possuir grande número de espécies, mas, ao mesmo tempo, ser fortemente ameaçado pelas atividades humanas. Hoje, aproximadamente 52% desse bioma já foi perdido, principalmente devido à agropecuária.<sup>[5]</sup>

Nesse bioma, as pesquisas visam caracterizar o microbioma endofítico de espécies nativas, isolado de distintas partes vegetais. Como resultado, foi encontrada ampla diversidade de espécies de fungos endofíticos, sendo algumas ainda não catalogadas. Através de abordagens dependentes e independentes de cultura (utilizando *metabarcoding*), verificou-se o microbioma endofítico foliar de seis espécies nativas do Cerrado, incluindo uma de suas espécies símbolo, *Caryocar brasiliense* (Pequi), indicando que a colonização ocorre não por uma única espécie fúngica,

mas por um conjunto de espécies.<sup>[14]</sup>

Ainda, se destaca a importância desses microrganismos em funções ecossistêmicas que envolvem fluxo de energia e ciclagem de nutrientes e na aptidão e adaptação das plantas hospedeiras sob condições de estresse;<sup>[14]</sup> além de estudos de avaliação do potencial bioativo dos metabólitos produzidos, com destaque para os anticancerígenos<sup>[15]</sup> e antimicrobianos (inclusive capazes de inibir bactérias multirresistentes), como, por exemplo, a nova espécie *Diaporthe cf. heveae*.<sup>[16]</sup>

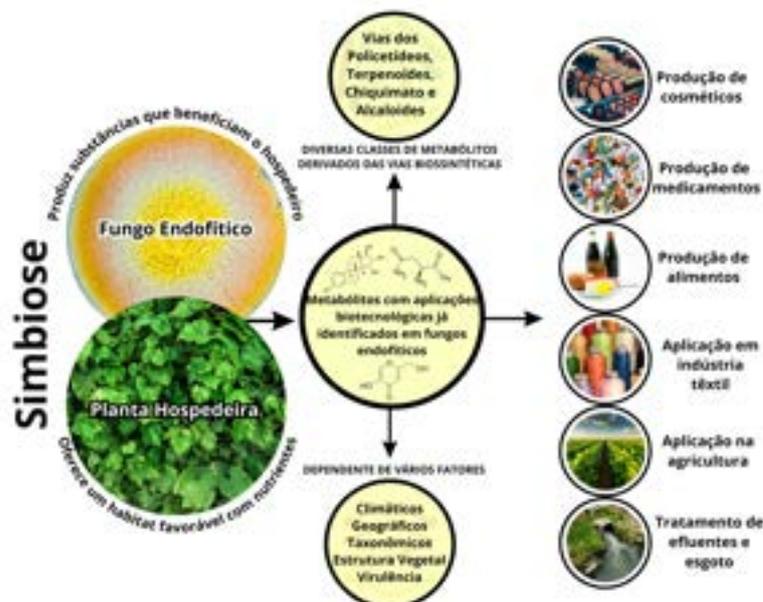
## Mata Atlântica

A Mata Atlântica cobria em torno de 17% do país, estando presente em 17 estados, abrangendo todo o

*“Os biomas brasileiros, por possuírem elevado número de espécies vegetais e características ambientais únicas, são notáveis reservatórios de uma diversidade de fungos endofíticos, incluindo espécies novas e com potencial para aplicações biotecnológicas.”*

litoral e áreas dos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás. Presente em região montanhosa, abrange uma faixa grande, de Sul a Norte do país, com uma grande variedade de ambientes<sup>[1]</sup> e já foram catalogadas mais de 21.200 espécies vegetais.<sup>[5]</sup> Esse é o bioma mais devastado do país, tendo perdido mais ou menos 70% da sua área original (*hotspot* brasileiro).<sup>[13]</sup>

Pesquisadores do Laboratório de Produtos Bioativos (LPBio) do Centro Multidisciplinar de Macaé – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e colaboradores tem dedicado aos estudos de fungos endofíticos do ambiente da Restinga de Jurubatiba, um ecossistema rico em diversidade, presente no bioma da Mata Atlântica. Dentre os destaques, estão os fungos endofíticos associados às espécies vegetais *Humiria balsamifera* e *Tocoyena bullata*. Dessa última, a substância lasiodiplodina, produzida pelo fungo *Sordaria tamaensis*, apresentou relevante atividade frente a bactéria *Mycobacterium tuberculosis*, agente causador da tuberculose em humanos, atuando tanto como antimicobacteriano (capaz de inibir o crescimento de *M. tuberculosis*) como anti-inflamatório (capaz de reduzir danos relacionados ao



**Figura 2. Interação fungo endofítico/planta hospedeira e exemplos de aplicações de metabólitos produzidos por esses microrganismos.** (Produção dos autores)

processo inflamatório associados com a tuberculose).<sup>[17]</sup>

Outro destaque é a avaliação de atividades enzimáticas, por meio de processos de biotransformação, já que a descoberta de enzimas é útil em diversos setores, como indústrias têxteis, alimentos, medicamentos, química, biocombustível, entre outras. Nesse contexto, estão os fungos endofíticos *Stemphylium lycopersici* e *Alternaria arborescens*, isolados da planta *Humiria balsamifera* e o fungo *Sordaria tamaensis*, isolado da planta *Tocoyena bullata*, que têm sido bastante promissores para produção de enzimas lipases e transaminases, importantes na indústria química com enfoque na obtenção de substâncias úteis como medicamentos.<sup>[18-20]</sup> Os processos de biotransformação são importantes porque geram produtos e processos de maneira mais sustentável, contribuindo para a uma melhor conservação do ambiente: é o que chamamos de química verde.

Pesquisas envolvendo ecologia química e interações entre os fungos endofíticos com suas plantas hospedeiras também foram realizados,<sup>[21-24]</sup> indicando que essas interações são bastante complexas e equilibradas.

### Pampa

O Pampa, situado na região Sul do país, ocupa uma área de 2.3% do Brasil com clima temperado e subtropical e sua vegetação é predominantemente campestre, composta

principalmente por espécies de gramíneas.<sup>[1,5]</sup> Mas vale ressaltar novamente: há diferentes tipos de vegetação e, mesmo nesse bioma, é possível encontrar áreas com florestas.

Embora exista grande diversidade de plantas endêmicas e peculiaridades nesse bioma, há poucas pesquisas, até o momento, sobre a diversidade de microrganismos, em especial os endofíticos. Um estudo reportou cerca de 934 fungos de Ascomycota, 149 Basidiomycota e 58 Myxomycetes do Pampa brasileiro.<sup>[25]</sup> O trabalho realizado pelo Núcleo de Estudos da Vegetação Antártica da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA investigou a biodiversidade e o potencial biotecnológico de fungos endofíticos. Fungos dos gêneros *Fusarium*, *Colletotrichum*, *Diaporthe*, *Pestalotiopsis* e *Epicoccum* foram isolados de uma herbácea bulbosa endêmica desse bioma, *Kelissa brasiliensis* (Baker) Ravenna – espécie considerada vulnerável devido ao avanço da agricultura<sup>[26,27]</sup> – e, testados quanto ao seu potencial antibacteriano. Outro destaque foi o endofítico *Botryosphaeria dothidea*, isolado de *Solanum americanum*, devido ao seu alto potencial na produção de compostos antioxidantes.<sup>[28]</sup>

## Pantanal

O Pantanal ocupava por volta de 1.8% do país, sendo também conhecido como a “maior planície alagável do mundo”. Com baixas altitudes e um período seco e outro chuvoso, resultando em períodos de inundações e secas em certas regiões, caracterizando as planícies alagáveis (não é o Pantanal inteiro que alaga).<sup>[1]</sup> Já foram catalogadas mais de 1.800 espécies vegetais e aproximadamente 15% do bioma já foi desmatado.<sup>[5]</sup>

Características únicas do solo, como pH, composição de matéria orgânica e concentração de minerais podem afetar a abundância da microbiota endofítica associada às plantas desse bioma. Um estudo comparativo entre a microbiota endofítica do Pantanal e Cerrado mostrou que os fungos do primeiro apresentavam funções especializadas tanto para a síntese do ácido 3-indol acético (AIA), importante para desenvolvimento de raízes vegetais (favorecendo a absorção de nutrientes pela planta), como para antibiose (resultante na produção de antibióticos).<sup>[29]</sup> As atividades antimicrobianas são outro destaque. O fungo

*Diaporthe* sp. produziu extratos ativos frente a diferentes bactérias causadoras de doenças em humanos,

como *Klebsiella pneumonia* e *S. aureus* resistente à metilina (MRSA).<sup>[30]</sup> De *Vochysia divergens*, foi isolado *Phaeophleospora vochysiae* sp. Nov., uma nova espécie de fungo endofítico, cujos metabólitos, como a cercosporina e isocercosporina, tem potente atividade antimicrobiana e citotóxica (inibição do crescimento de células de câncer de próstata e pulmão).<sup>[31]</sup> O Pantanal, apesar de ainda ser um bioma pouco explorado com relação aos estudos de fungos endofíticos, tem se destacado como ambiente biodiverso e promissor.

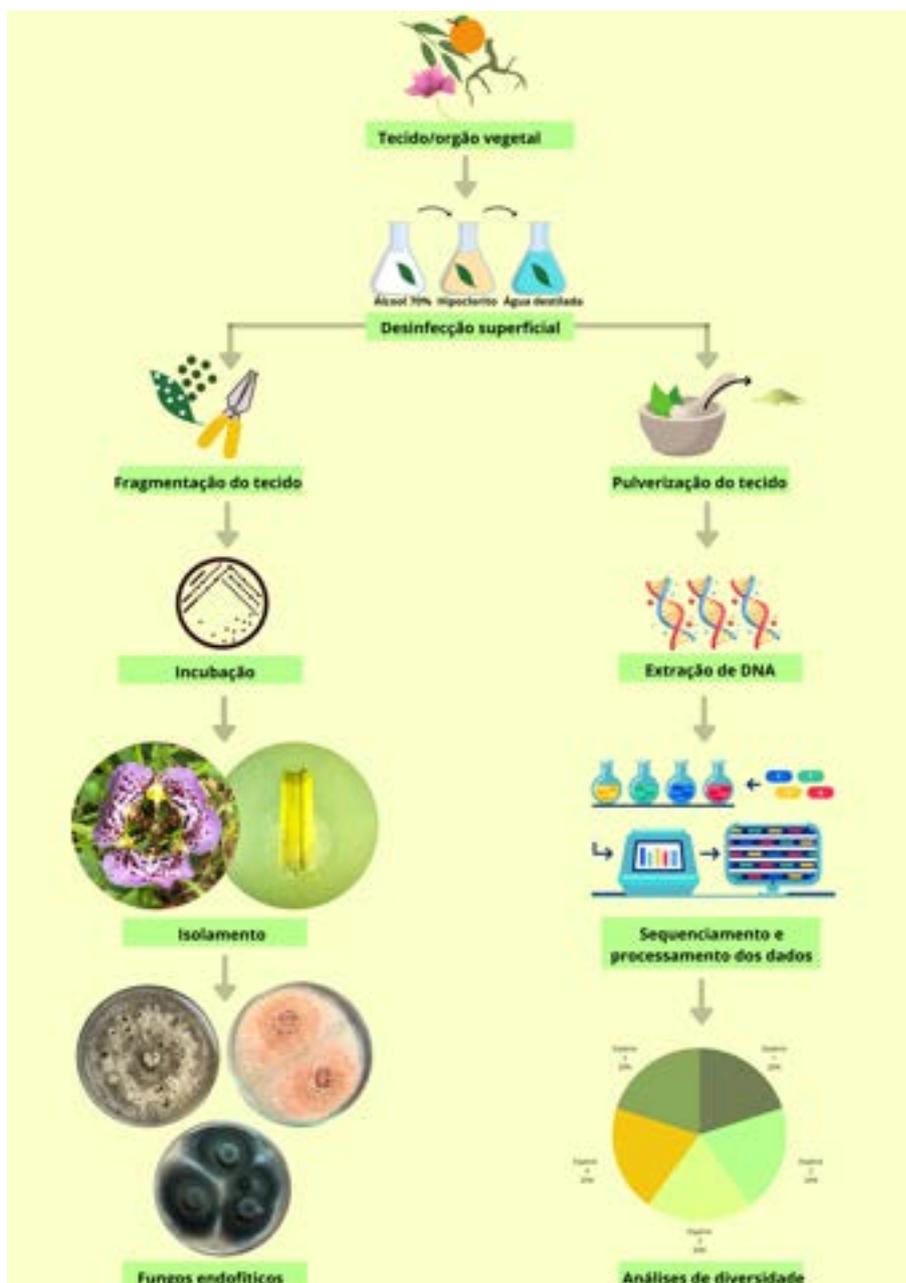
## Metodologias para estudar fungos endofíticos: como conseguir acessar esses microrganismos?

Os fungos endofíticos podem ser estudados por metodologias dependentes de cultivo, baseado na obtenção de espécies fúngicas isoladas, ou independentes de cultivo, baseado na análise de genomas, dispensando o isolamento das espécies microbianas.<sup>[32]</sup> No primeiro caso, após o cultivo das espécies isoladas, fornece metabólitos e enzimas, e ainda podem atuar como controle biológico. Já o segundo método permite estimar um número mais próximo da real

diversidade de espécies microbianas (fúngicas, nesse caso) presentes e suas funções fisiológicas, biológicas e ecológicas (Figura 3). Em ambas as abordagens, o primeiro passo é a coleta do material a ser analisado.

Para isso, o tecido vegetal deve ser saudável, sem sintomas aparentes de doenças, lesões, manchas foliares ou herbivoria. Após a coleta, o material é armazenado em recipiente estéril, identificado e colocado sob refrigeração, transportado e analisado em até 24 horas. Na sequência, é feita a desinfecção superficial para eliminar microrganismos epífitos (microrganismos presentes na superfície dos tecidos vegetais).

O processo de desinfecção usual é com etanol 70% e hipoclorito de sódio (1-2%). O tecido vegetal é primeiro lavado com água corrente e detergente neutro (a depender do tipo de tecido), depois submerso em álcool 70% (1-3 min), em hipoclorito de sódio 1-2% (2-10 min) e, em seguida, é lavado com água destilada estéril. A concentração e tempo de submersão dos agentes desinfetantes irá depender das características do tecido vegetal. A água da última lavagem é transferida para meio de cultura para validar o método de desinfecção de superfície, não



**Figura 3. Metodologias para estudos dos fungos endofíticos**  
(Produção dos autores)

crescimento microbiano.

Para os métodos dependentes de cultivo,<sup>[3]</sup> após a desinfecção, o tecido vegetal é fragmentado (~2-25 mm<sup>2</sup>) e colocado em placa de Petri contendo meio de cultura e antibióticos (para evitar o crescimento de bactérias endofíticas), e incubado a 25-30 °C. Para aumentar a diversidade de espécies isoladas, varia-se, principalmente, as fontes de carbono e nitrogênio do meio de cultura. Os cultivos são observados diariamente e tão logo o crescimento fúngico seja observado, esse microrganismo é coletado com agulhas estéreis e transferido para uma nova placa de Petri contendo meio de cultura fresco. Em seguida,

ponta de hifa, ou monospórico para obtenção de colônias puras, e estas são estocadas. Os isolados, quando possível, são classificados ao nível de gênero baseado na morfologia e tipos de esporos, e ao nível de espécie por meio do sequenciamento genético de regiões características, tidas como *barcode* (código de barras). Para os métodos independentes de cultivo, o tecido vegetal é pulverizado em nitrogênio líquido até a obtenção de um pó esbranquiçado e o DNA é extraído usando protocolos *in house* ou *kit* de extração. O material genético, após ser processado, pode ser analisado para diferentes finalidades, incluindo estudos de diversidade e funcionalidade e atribuição taxonômica (até nível de espécie, quando possível). A partir daí, são feitas inferências funcionais e ecológicas.<sup>[3]</sup>

## Considerações finais

Ao refletirmos o quão limitado ainda é nosso conhecimento sobre a diversidade e o potencial dos fungos endofíticos (e outros microrganismos) presentes nos diferentes biomas brasileiros e como eles tem sido afetado pelas ações antropogênicas, ficam as dúvidas: o que já perdemos sem nem ao menos conhecer? Como os biomas têm sido impactados? Quais potenciais de uso pela humanidade (desde saúde à tecnologia) foram desperdiçados? O que ainda será perdido e como minimizar as perdas futuras?

**Patrícia Cardoso Cortelo** é pesquisadora colaboradora na Universidade de Brasília (UnB), atua na pesquisa de produtos naturais oriundos da biodiversidade de fungos endofíticos do Cerrado. Possui graduação em Química, com mestrado e doutorado em Química pela UNESP-IQ/Araraquara, com período sanduíche na University of Nevada (Reno, Nevada, USA).

**Jefferson Brendon Almeida dos Reis** é graduado em Biomedicina (Bacharelado) com habilitação em patologia clínica, Mestre em Biologia Microbiana pela UnB, e doutorando em Biologia Microbiana UnB. Atua nas áreas de ecologia, fisiologia e biologia microbiana, com enfoque para estudo de fungos endofíticos; biologia molecular e bioinformática; metagenômica, genômica e metabolômica de fungos.

**Denise Oliveira Guimaraes** é professora associada da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e pesquisadora em metabolismos secundários de microrganismos, biotransformação, ensaios antimicrobianos e fitoquímica. Possui graduação em Farmácia pela UFG, mestrado e doutorado pela FCFRP-USP, com período de estágio no Massachusetts General Hospital (Harvard University, Boston, Estados Unidos). Possui pós-doutorado pela USP com período de estágio na The Rockefeller University, New York, Estados Unidos.

**Fernanda Oliveira das Chagas** é professora adjunta da UFRJ e pesquisadora na área de química, ecologia e genética de microrganismos. Graduada em Farmácia pela FCFRP-USP com mestrado e doutorado pela mesma instituição, e período sanduíche no College of Pharmacy (University of Utah, Estados Unidos). Realizou pós-doutorado na USP e foi pesquisadora visitante no Scripps Institution of Oceanography (University of California, San Diego, Estados Unidos).

**Guilherme Afonso Kessler de Andrade** é biólogo, mestre e doutorando pela Universidade Federal do Pampa – Unipampa. Atua como pesquisador no Núcleo de Estudos da Vegetação Antártica - NEVA localizado na Unipampa Campus São Gabriel.

**Jadson Bezerra** é biólogo, mestre e doutor em Biologia de Fungos. Atualmente é professor do Instituto de Patologia Tropical e Saúde Pública da Universidade Federal de Goiás.

**Thiago R. B. de Mello** é biólogo, com mestrado em Botânica e doutorado em Ecologia. Trabalha principalmente com comunidades vegetais de Cerrado e interações que elas têm com outros organismos e o meio físico.

## Referências

- [1] MapBiomas Project- Collection 2023 of the Annual Series of Land Use and Land Cover Maps of Brazil. Disponível em <<https://brasil.mapbiomas.org.br>>. Acessado em 15 set. 2023.
- [2] DOS REIS, J. B. A.; DO VALE, H. M. M.; LORENZI, A. S. Insights into taxonomic diversity and bioprospecting potential of Cerrado endophytic fungi: a review exploring a unique Brazilian biome and methodological limitations. *World J. Microbiol. Biotechnol.* v. 38, n. 11, p. 202, 2022b. doi: 10.1007/s11274-022-03386-2.
- [3] DOS REIS, J. B. A.; LORENZI, A. S.; DO VALE, H. M. M. Methods used for the study of endophytic fungi: a review on methodologies and challenges, and associated tips. *Arch Microbiol.* v. 204, n. 11, p. 675, 2022a. doi: 10.1007/s00203-022-03283-0.
- [4] CHAGAS, F. O.; PESSOTI, R. C.; CARABALLO-RODRÍGUEZ, A. M.; PUPO, M. T. Chemical signaling involved in plant-microbe interactions. *Chem. Soc. Rev.* v. 47, p. 1652-1704, 2018. doi.org/10.1039/C7CS00343A.
- [5] **Flora e Funga do Brasil.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br>>. Acessado em: 16 set. 2023.
- [6] Biodiversity Research Program (PPBio). 2012. Fungoteca. Disponível em: <<https://ppbio.inpa.gov.br/fungoteca/paginainicial>>. Acessado em 03 out. 2023.
- [7] ARAÚJO, I. F.; MARINHO, V. H. S.; SENA, I. D. S.; CURTI, J. M.; RAMOS, R. D. S.; FERREIRA, R. M. A.; SOUTO, R. N. P.; FERREIRA, I. M. Larvicidal activity against *Aedes aegypti* and molecular docking studies of compounds extracted from the endophytic fungus *Aspergillus* sp. isolated from *Bertholletia excelsa* Humn. & Bonpl. *Biotechnol. Lett.*, v. 44, n. 3, p. 439-459, 2022. doi: 10.1007/s10529-022-03220-7.
- [8] MANDAVID, H.; RODRIGUES, A. M. S.; ESPINDOLA, L. S.; EPARVIER, V.; STIEN, D. Secondary metabolites isolated from the Amazonian endophytic fungus *Diaporthe* sp. SNB-GSS10. *J. Nat. Prod.* v. 78, n. 7, p. 1735-1739, 2015. doi: 10.1021/np501029s.
- [9] MATIAS, R. R.; SEPÚLVEDA, A. M. G.; BATISTA, B. N.; DE LUCENA, J. M. V. M.; ALBUQUERQUE, P. M. Degradation of *Staphylococcus aureus* biofilm using hydrolytic enzymes produced by Amazonian endophytic fungi. *Appl. Biochem. Biotechnol.* v. 193, n. 7, p. 2145-2161, 2021. doi:10.1007/s12010-021-03542-8.
- [10] BEZERRA, J. D. P.; DA SILVA, L. F.; DE SOUZA-MOTTA, C. M. The explosion of Brazilian endophytic fungal diversity: taxonomy and biotechnological potentials. In: Satyanarayana, T., Deshmukh, S., Deshpande, M. (eds). **Advancing Frontiers in Mycology & Mycotechnology.** Singapore: Springer, 2019, p. 405-433. doi:10.1007/978-981-13-9349-5\_16.
- [11] DE CARVALHO, C. R.; FERREIRA-D'SILVA, A.; AMORIM, S. S.; ROSA, L. H. Diversity, ecology, and bioprospecting of endophytic fungi in the Brazilian biomes of Rupestrian Grasslands, Caatinga, Pampa, and Pantanal. In: Rosa, L.H. (eds). **Neotropical Endophytic Fungi.** Switzerland: Springer, 2021, p. 151-176. doi: 10.1007/978-3-030-53506-3\_8.
- [12] RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (ed.). **Cerrado: ecologia e flora.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. v. 1, p. 151-212. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/224039/1/CERRADO-Ecologia-e-flora-VOL-1.pdf>>. Acessado em: 09 out. 2023.
- [13] MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000. doi: 10.1038/35002501.
- [14] DOS REIS, J. B. A.; PAPPAS JUNIOR, G. J.; LORENZI, A. S.; PINHO, D. B.; COSTA, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. D. C.; VALE, H. M. M. D. How deep can the endophytic mycobiome go? A case study on six woody species from the Brazilian cerrado. *J. Fungi*, v. 9, p. 508, 2023. doi:10.3390/jof9050508.
- [15] CASELLA, T. M.; EPARVIER, V.; MANDAVID, H.; BENDELAC, A.; ODONNE, G.; DAYAN, L.; DUPLAIS, C.; ESPINDOLA, L. S.; STIEN, D. Antimicrobial and cytotoxic secondary metabolites from tropical leaf endophytes: Isolation of antibacterial agent pyrrocidine C from *Lewia infectoria* SNB-GTC2402. *Phytochemistry*. v. 96, p. 370-377, 2013. doi: 10.1016/j.phytochem.2013.10.004.
- [16] SAVI, D. C.; NORILER, S. A.; PONOMAREVA, L. V.; THORSON, J. S.; ROHR, J.; GLIENKE, C.; SHAABAN, K. A. Dihydroisocoumarins produced by *Diaporthe* cf. *heveae* LGMF1631 inhibiting citrus pathogens. *Folia Microbiol.* v. 65, p. 381-392, 2020. doi: 10.1007/s12223-019-00746-8.
- [17] CALIXTO, S. D.; SIMÃO, T. L. V. V.; ALMEIDA, F. M.; ANTUNES, S. S.; ROMEIRO, N. C.; BORGES, W. S.; CHAGAS, F. O.; SELDIN, L.; CARVALHO, E. C. Q.; ANDRIOLI, W. J.; GUIMARÃES, D. O.; LASUNSKAIA, E.; MUZITANO, M. F. (R)-(+)-Lasiodiplodin isolated from the endophytic fungus *Sordaria tamaensis* exhibits potent antimycobacterial and anti-inflammatory activities *in vitro* and *in vivo*: a dual approach for the treatment of severe pulmonary tuberculosis. *J. Pharm. Pharmacol.* v. 74, p. 446-457, 2022. doi: 10.1093/jpp/rgab165.
- [18] PINHEIRO, L. A.; SILVA, F. F.; QUEIROZ, M. S. R.; AGUIEIRAS, E. C. G.; CIPOLATTI, E. P.; SILVA, A. S.; BASUT, J.; SELDIN, L.; GUIMARÃES, D. O.; FREIRE, D. M. G.; SOUZA, R. O. M. A.; LEAL, I. C. L. Activity of endophytic fungi in enantioselective biotransformation of chiral amines: new approach for solid-state fermentation. *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, v. 48, p. 102631, 2023. doi: 10.1016/j.bcab.2023.102631.
- [19] QUEIROZ, M. S. R.; PINHEIRO, L. A.; SUTILI, F. K.; de SOUZA, P. M.; SELDIN, L.; MUZITANO, M. F.; de SOUZA, R. O. M. A.; GUIMARÃES, D. O. Enantioselective biotransformation of sterically hindered amine substrates by the fungus *Stemphylium lycopersici*. *J. Appl. Microb.*, v. 124, n. 5, p. 1107-1121, 2018. doi: 10.1111/jam.13684.
- [20] ROCHA, K. S. C.; QUEIROZ, M. S. R.; GOMES, B. S.; DALLAGO, R.; de SOUZA, R. O. M. A.; GUIMARÃES, D. O.; ITABAIANA Jr, I.; LEAL, I. C. R. Lipases of Endophytic Fungi *Stemphylium lycopersici* and *Sordaria* sp.:

- Application in the synthesis of solketal derived Monoacylglycerols. **Enzyme Microb. Technol.**, v. 142, p. 109664, 2020.  
doi: 10.1016/j.enzmictec.2020.109664.
- [21] CHAGAS, F. O.; DIAS, L. G.; PUPO, M. T. A mixed culture of endophytic fungi increases production of antifungal polyketides. **J. Chem. Ecol.** v. 39, n. 10, p. 1335-42, 2013. doi: 10.1007/s10886-013-0351-7.
- [22] CHAGAS, F. O.; CARABALLO-RODRÍGUEZ, A. M.; DORRESTEIN, P. C.; PUPO, M. T. Expanding the Chemical repertoire of the endophyte *Streptomyces albospinus* RLe7 reveals amphotericin B as an inducer of a fungal phenotype. **J. Nat. Prod.** v. 80, n. 5, p. 1302–1309, abr. 2017. doi: 10.1021/acs.jnatprod.6b00870.
- [23] CARABALLO-RODRÍGUEZ, A. M.; MAYOR, C. A.; CHAGAS, F. O.; PUPO, M. T. Amphotericin B as an inducer of griseofulvin-containing guttate in the endophytic fungus *Xylaria cubensis* FLe9. **Chemoecology**. v. 27, p. 177–185, 2017. doi: 10.1007/s00049-017-0243-3.
- [24] CHAGAS, F. O.; PUPO, M. T. Chemical interaction of endophytic fungi and actinobacteria from *Lychnophora ericoides* in co-cultures. **Microbiol. Res.** v. 212, p.10-16, 2018. doi: /10.1016/j.micres.2018.04.005.
- [25] ANDRADE, B. O. et. al. Biodiversity of the Brazilian pampa. **Front. Biogeogr.**, v. 15, n. 2, p. e.59288, 2023. doi: 10.21425/F5FBG59288.
- [26] BARROSO, C. M. 2006. Propagação de espécies nativas com potencial ornamental: *Kelissa brasiliensis* (Baker) Ravenna e *Sinningia lineata* (Hjelmq) Chautems. Msc Thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- [27] ANDRADE, G. A. K.; BEZERRA, J. D. P.; VARGAS, M. V. M.; BERNARDES, B. M.; GOULART, S. N. B.; ALVES, R. P.; KÜSTER, M. C. T.; PEREIRA, A. B.; VICTORIA, F. C. Endophytic fungi from an overlooked plant species: A case study in *Kelissa brasiliensis* (Baker) Ravenna. **Acta Bot. Bras.**, v. 36, e2020abb0426, 2022. doi: 10.1590/0102-33062020abb0426.
- [28] DRUZIAN, S. P.; PINHEIRO, L. N.; SUSIN, N. M. B.; PRÁ, V. D.; MAZUTTI, M. A.; HUHN, R. C.; TERRA, L. M. Production of metabolites with antioxidant activity by *Botryosphaeria dothiedea* in submerged fermentation. **Bioprocess Biosyst. Eng.**, v. 43, p. 13-20, 2020. doi: 10.1007/s00449-019-02200-y.
- [29] ROCHA, A. F. S.; VITORINO, L. C.; BESSA, L. A.; COSTA, R. R. G. F.; BRASIL, M. S.; SOUCHIE, E. L. Soil parameters affect the functional diversity of the symbiotic microbiota of *Hymenaea courbaril* L., a Neotropical fruit tree. **Rhizosphere**, v. 16, p.100237, 2020. doi: 10.1016/j.rhisph.2020.100237.
- [30] NORILER, S. A.; SAVI, D. C.; ALUIZIO, R.; CORTES, A. M. P.; POSSIEDE, Y. M.; GLIENKE, C. Bioprospecting and structure of fungal endophytic found in the Brazilian biomes, Pantanal, and Cerrado. **Front. Microbiol.** v. 9, p. 1526, 2018. doi: 10.3389/fmicb.2018.01526.
- [31] SAVI, D. C.; SHAABAN, K. A.; GOS, F. M. W. R.; PONOMAREVA, L. V.; THORSON, J. S.; GLIENKE, C.; ROHR, J. *Phaeophleospora vochysiae* Savi & Glienke sp. nov. Isolated from *Vochysia divergens* found in the Pantanal, Brazil, produces bioactive secondary metabolites. **Sci. Rep.** v. 8, p. 3122, 2018. doi:10.1038/s41598-018-21400-2.
- [32] DOS REIS, J. B. A.; LORENZI, A. S.; DO VALE, H. M. M. Methods used for the study of endophytic fungi: a review on methodologies and challenges, and associated tips. **Arch Microbiol.** v. 204, n. 11, p. 675, 20 out. 2022a. doi: 10.1007/s00203-022-03283-0.



**Capa. Manifestações artísticas refletem sobre a identidade e a natureza brasileiras**

(Foto: *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Castanheira-do-Brasil). André L. R. Cardoso - botânico do Museu Paraense Emílio Goeldi. Reprodução)

---

# Como a Arte construiu o Brasil e a diversidade de biomas, povos e regiões

*Obras celebram natureza brasileira e convidam à preservação*

Laila S. Espindola

Sagrado são as águas do rio e o fogo que acende a vela do batismo da criança.

As águas do rio que corre nas veias dos povos tradicionais – “O rio é nosso sangue”. Não é a mesma água com lama derramada pelos

criminosos da mineração.

O fogo que aquece, que permite preparar o alimento, coletar o mel, se comunicar, ou roçar o terreno. Não é o mesmo fogo comumente usado hoje para incendiar nossas florestas, desmatar, desertificar.

Como a Arte construiu o Brasil e a diversidade de biomas, povos e regiões. Passado e presente – herdeiros ascendentes ou descendentes com a otimista incumbência



**Figura 1. Amazônia**

(Foto: @kuritafsheen77/ Freepik.com. Reprodução)

de assegurar a continuidade da vida.

## Amazônia

O compositor paraibano Vital Farias, antes de iniciar a cantoria de seu protesto musical – “Saga da Amazônia” – obra visionária escrita entre 1979 e 1982, declama um “resumo” da canção, utilizando as palavras do poeta potiguar François Silvestre: “Só é cantador quem traz no peito o cheiro e a cor da sua terra, a marca de sangue de seus mortos e a certeza de luta de seus vivos”.

*Era uma vez na Amazônia a mais bonita floresta  
Mata verde, céu azul, a mais imensa floresta  
No fundo d'água as laras, caboclo lendas e mágoas  
E os rios puxando as águas*

*Papagaios, periquitos, cuidavam das suas cores  
Os peixes singrando os rios, curumins cheios de amores  
Sorria o jurupari, uirapuru, seu porvir  
Era fauna, flora, frutos e flores*

*Toda mata tem caipora para a mata vigiar  
Veio caipora de fora para a mata definir  
E trouxe dragão-de-ferro, pra comer muita madeira  
E trouxe em estilo gigante, pra acabar com a capoeira*

*Fizeram logo o projeto sem ninguém testemunhar  
Pra o dragão cortar madeira e toda mata derrubar*

*Se a floresta meu amigo, tivesse  
pé pra andar  
Eu garanto, meu amigo, que o  
perigo não tinha ficado lá*

*O que se corta em segundos  
gasta tempo pra vingar  
E o fruto que dá no cacho pra  
gente se alimentar?  
Depois tem o passarinho, tem o  
ninho, tem o ar  
Igarapé, rio abaixo, tem riacho e  
esse rio que é um mar*

*Mas o dragão continua na  
floresta a devorar  
E quem habita essa mata, pra  
onde vai se mudar?  
Corre índio, seringueiro,  
preguiça, tamanduá  
Tartaruga, pé ligeiro, corre, corre  
tribo dos Kamaiurá*

*Mas o dragão continua na  
floresta a devorar  
E quem habita essa mata, pra  
onde vai se mudar?  
Corre índio, seringueiro,  
preguiça, tamanduá  
Tartaruga, pé ligeiro, corre, corre  
tribo dos Kamaiurá*

*No lugar que havia mata, hoje há  
perseguição  
Grileiro mata posseiro só pra lhe  
roubar seu chão  
Castanheiro, seringueiro já  
viraram até peão*

***“A agricultura  
depende da natureza  
saudável para  
continuar tal atividade  
econômica.”***

Afora os que já morreram como  
ave-de-arribação  
Zé de Nana tá de prova, naquele  
lugar tem cova  
Gente enterrada no chão

Pois mataram índio que matou  
grileiro que matou posseiro  
Disse um castanheiro para um  
seringueiro que um estrangeiro  
Roubou seu lugar

Pois mataram índio que matou  
grileiro que matou posseiro  
Disse um castanheiro para um  
seringueiro que um estrangeiro  
Roubou seu lugar

Foi então que um violeiro  
chegando na região  
Ficou tão penalizado e escreveu  
essa canção  
E talvez desesperado com tanta  
devastação  
Pegou a primeira estrada, sem  
rumo, sem direção  
Os olhos cheios de água, sumiu  
levando essa mágoa  
Dentro do seu coração

Foi então que um violeiro  
chegando na região  
Ficou tão penalizado que  
escreveu essa canção  
E talvez desesperado com tanta  
devastação  
Pegou a primeira estrada, sem  
rumo, sem direção  
Os olhos cheios de água, sumiu  
levando essa mágoa  
Dentro do seu coração

Aqui termina essa história para gente  
de valor  
Pra gente que tem memória, muita  
crença, muito amor  
Pra defender o que ainda resta, sem  
rodeio, sem aresta  
Era uma vez uma floresta na linha do  
Fauador



**Figura 2. Cerrado - *Calliandra dyantha* Benth. - símbolo do Bioma**  
(Foto: Laila Salmen Espindola)

O poema-musical escrito há mais de 41 anos protesta em nome das pessoas que lá restaram e ainda lutam pela preservação da floresta, lembrando suas belezas e o perigo de seu fim. O “dragão de ferro” – ferrovia construída no “corredor Carajás” – conecta a destruição da mata com as lendas e mitos – lara (Mãe d’Água) e a Caipora (Mãe do Mato)... vigiando e outro vindo de fora, para a “mata definhar”.

Hoje não são os mesmos, os forasteiros interessados apenas em fins lucrativos... e a saga continua... “Era uma vez na Amazônia, a mais bonita floresta”.

Mais recentemente, a “Canção pra Amazônia”, outro manifesto musical escrito por Carlos Rennó com melodia de Nando Reis e em canto reunido por várias vozes de músicos influentes, atualiza as escolhas dos forasteiros de hoje e as consequências para seus povos e a floresta – garimpo ilegal; terror que assombra com a matança para dizimar povos, como as crianças Yanomami; madeira ilegal; incêndios; a desertificação; “as boiadas” e as mudanças no clima... “Amazônia é sem igual, sem plano B”.

Amazônia  
É sem igual, sem plano B nem clone a  
Amazônia

Dos povos da floresta sob pressão



**Figura 3. Caatinga - *Cordia oncocalyx* Allemão (Pau-Branco)**  
(Foto: Edilberto Rocha Silveira - UFC)

*O indígena, seu grande guardião  
Em comunhão com ela há milênios  
Nos últimos e trágicos decênios*

*Eles não pensam no amanhã nem do planeta nem dos próprios  
filhos*

*O que o índio viu, previu, falou  
Também o cientista comprovou  
Desmate aumenta, o clima seco aquece  
A mata, o céu e a Terra, que estremece  
Esse é o recado deles, lá no fundo  
Salve-se a selva ou não se salva o mundo  
Pra não torná-los um inferno, um forno  
Salve a Amazônia do ponto sem retorno*

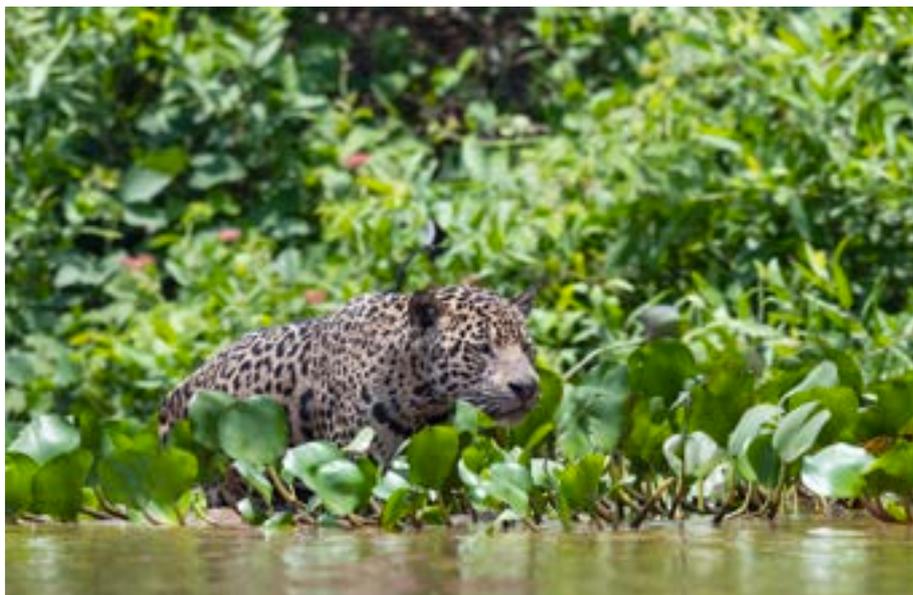
*Será que ainda tá em tempo ou o timing disso já perdemos?  
Pois, evitemos pelo menos os eventos mais extremos*

Esta “Canção pra Amazônia” foi escrita ao final de 2019 - início 2020 e gravada somente em 2021 devido à pandemia causada pelo SARS-CoV-2 – o vírus soberano que iniciou seu comando sobre o mundo no início 2020 – certamente resultado das transformações do meio ambiente, que fazem a ponte epidemiológica entre nós e os patógenos, em constante evolução. Aliás, esse vírus ainda continua fazendo suas mutações e adoecendo as pessoas.

No auge da pandemia, a revolução que Steve Jobs fez no mundo – com certeza graças à sua inquietação, curiosidade, sensibilidade e prazer em conhecer o desconhecido – nos permitiram guardar a calma e a fé na vida para vermos além do sofrimento, continuarmos

*“Com as mudanças climáticas, todos os seres vivos estão tendo que lidar com temperaturas cada vez mais elevadas. Situação que gera novos desafios e sofrimentos, diante do agravamento de disponibilidade de água.”*

exercendo nossas atividades, auxiliados pelos seus feitos visionários. Os cientistas – “os LeonardoS da Vinci” – da vida, como heróis abençoados, lutaram contra o tempo, o cansaço físico e mental, e trouxeram ao mundo a vacina. Vacina que transcreveu beleza particular – a inteligência, a genialidade, o encanto da curiosidade, o conhecer o desconhecido, o respeito à sociedade e a esperança de vida. E assim, a cara de quem acreditava na ciência foi pura esperança. (Figura 1)



**Figura 4. Pantanal**  
(Foto: Unsplash.com. Reprodução)

## Cerrado

Por aqui, na pandemia da Universidade de Brasília...

*A árvore do Cerrado  
Estava em flores  
Quanta delicadeza!*

*Era na última seca  
Em setembro de 2020*

*Hoje, esse templo de oração  
Nas horas do Anjo da força,  
amém  
Que fica quase em frente  
ao nosso Hospital Universitário  
Com seu tronco retorcido  
suas cascas grossas  
Folhas bem verdes e fortes  
Nos lembra*

*Que apesar de termos pé  
Prá andar  
Hoje somos como ela  
Não temos como sair correndo  
Quem é vivo  
Corre perigo*

*Mas ela também*

*nos mostra  
que apesar de vivermos um tempo  
que nos testa  
a resistência e a paciência*

*Acreditar  
que apesar da devastação  
crônica*

*Tem o ar  
as estações*

*“E com os olhos  
Cheios de água”  
É preciso  
Enquanto a espera aumenta  
Guardar a memória  
Do amor  
Da crença na vida  
Da esperança*

João Guimarães Rosa, nos deixou como legado, poder se enveredar pelo “Grande Sertão: Veredas” na década de 1950. No romance, a lealdade de Riobaldo para nos descrever o mundo dentro do Cerrado, com os detalhes sobre as plantas, animais, geologia, trilhas, chapadões, veredas... e de seus povos, nos mostra a grandiosidade do segundo maior bioma brasileiro. Riobaldo nos guiou neste “poema” sobre o Cerrado, o qual ele aprendeu a apreciar as belezas com Diadorim – “Quando o senhor sonhar, sonhe



**Figura 5. Pampa**

(Foto: Ana Luisa Mengardo/ USP. Reprodução)

com aquilo...”

Hoje não nos resta muito a sonhar. Em 25 anos de Universidade de Brasília (UnB), vi o Cerrado “definhar”. Anos durante os quais construímos um “Banco de Extratos e Substâncias de Plantas e Fungos Endofíticos do Cerrado” – legado construído com os estudantes e nosso saudoso amigo botânico Professor José Elias de Paula. Os tempos que em parávamos a kombi da UnB na beira da estrada, fazíamos cinco metros Cerrado adentro e lá estava a planta que queríamos coletar em busca de novos compostos ativos em algum modelo biológico estudado ou inseticidas/repelentes para o controle de insetos.

Com o tempo... atrás dos cinco metros de Cerrado da beira da estrada era somente a monocultura de soja. E hoje está feita a ligação entre o desmatamento do Cerrado e a crescente prática do livre comércio internacional dessa commodity. Esta soja serve para alimentar o gado no exterior (sete toneladas/ cabeça de gado), devido à proibição do uso de fontes proteicas de origem animal, quando nos anos de 1996, surgiu na Europa os problemas da “vaca louca” – doença zoonótica neurodegenerativa variante da Doença de Creutzfeldt-Jakob associada ao consumo de carne e subprodutos contaminados com Encefalite Espongiforme Bovina.

O contraditório em toda esta destruição do Cerrado – desmatamento com esgotamento do solo e “gritantes”

mudanças climáticas – é que a agricultura depende da natureza saudável para continuar tal atividade econômica. (Figura 2)

## Caatinga

Euclides da Cunha, em “Os Sertões”, o primeiro romance-reportagem brasileiro escrito entre 1866-1909 e publicado em 1902, descreve em detalhes o nosso bioma Caatinga. As estações secas e de chuvas. Explica o motivo da seca e a “inclémência do meio” com todos os seus conhecimentos geológicos e morfológicos que caracteriza o sertão, com seu clima árido onde às vezes não se encontra água nem mesmo para aliviar a sede.

Depois celebra a alegria com a chegada da chuva, a existência dos rios temporários, fala dos animais, das plantas, incluindo o umbuzeiro e conclui... “o sertanejo é feliz e não inveja nem mesmo os reis da Terra!”

De lá para cá o bioma foi sendo modificado, ganhando áreas de desertificação, e com as mudanças climáticas, todos os seres vivos, incluindo seu povo catingueiro (sertanejos, vaqueiros, agricultores, indígenas e quilombolas) estão tendo que lidar com temperaturas cada vez mais elevadas. Situação que gera novos desafios e sofrimentos,

diante do agravamento de disponibilidade de água.

Umbu significa em tupi-guarani “árvore que dá de beber”, que tem capacidade de armazenar água, especialmente na raiz, e atravessar os longos períodos de seca. Suas raízes e seus frutos deliciosos alimentam as pessoas e os animais. A árvore centenária com folhas que desaparecem na seca e renascem com as primeiras chuvas têm ainda propriedades medicinais. Euclides da Cunha, diante das características da espécie caixa d’água, que ajudava a manter a vida no sertão, concebeu-lhe como “árvore sagrada do sertão”:

*[...] os umbuzeiros alevantam dous metros sobre o chão, irradiantes em círculo, os galhos numerosos.*

*É a árvore sagrada do sertão. Sócia fiel das rápidas horas felizes e longos dias amargos dos vaqueiros. Representa o mais frisante exemplo de adaptação da flora sertaneja. Foi, talvez, de talhe mais vigoroso e alto — e veio descaindo, pouco a pouco, [...] modificando-se à feição do meio, desinvoluindo, até se preparar para a resistência e reagindo, por fim, desafiando as secas duradouras, sustentando-se nas quadras miseráveis mercê da energia vital que economiza nas estações benéficas, das reservas guardadas em grande cópia nas raízes.*

*E reparte-as com o homem. [...]*



**Figura 6. Mata Atlântica – *Caesalpinia echinata* Lam. (Pau-Brasil) – símbolo do Bioma**

(Foto: Laila Salmen Espindola)

*Alimenta-o e mitiga-lhe a sede. Abre-lhe o seio acariciador e amigo, onde os ramos recurvos e entrelaçados parecem de propósito feitos para a armação das redes bamboantes. E ao chegarem os tempos felizes dá-lhe os frutos de sabor esquisito para o preparo da umbuzada tradicional.*

Sem falar das cantorias do grande músico Luiz Gonzaga, alegria do nosso Brasil, que canta a natureza desse bioma exclusivamente brasileiro, e a vida de seu povo resiliente e corajoso – “Espero a chuva cair de novo...Pra mim voltar' pro meu sertão...” (Figura 3)

## Pantanal

Manoel de Barros, o poeta do Pantanal – também registrou a simplicidade com sofisticação, em seu livro “Memórias inventadas: a infância” publicado em 2003, por meio do poema, cujo nome já nos ensina muito: “Aprendimentos” – que conecta a história de vida com o ensino. (Figura 4)

O filósofo Kierkegaard me ensinou que cultura é o caminho que o homem percorre para se conhecer. Sócrates fez o seu caminho de cultura e ao fim falou que só sabia que não sabia de nada.

Não tinha as certezas científicas.  
Mas que aprendera coisas  
di-menor com a natureza.  
Aprendeu que as folhas  
das árvores servem para nos  
ensinar a cair sem  
alardes. Disse que fosse ele caracol  
vegetado  
sobre pedras, ele iria gostar. Iria  
certamente  
aprender o idioma que as rãs falam  
com as águas  
e ia conversar com as rãs.

E gostasse mais de ensinar que a  
exuberância maior está nos insetos  
do que nas paisagens. Seu rosto  
tinha um lado de  
ave. Por isso ele podia conhecer  
todos os pássaros  
do mundo pelo coração de seus  
cantos. Estudara  
nos livros demais. Porém aprendia  
melhor no ver,  
no ouvir, no pegar, no provar e no  
cheirar.

Chegou por vezes de alcançar o  
sotaque das origens.  
Se admirava de como um grilo  
sozinho, um só pequeno  
grilo, podia desmontar os silêncios  
de uma noite!  
Eu vivi antigamente com Sócrates,  
Platão, Aristóteles —  
esse pessoal.

Eles falavam nas aulas: Quem se  
aproxima das origens se renova.  
Píndaro falava pra mim que usava  
todos os fósseis linguísticos que  
achava para renovar sua poesia. Os  
mestres pregavam  
que o fascínio poético vem das

raízes da fala.

Sócrates falava que as  
expressões  
mais eróticas  
são donzelas. E que a Beleza se  
explica melhor  
por não haver razão nenhuma  
nela.  
O que mais eu sei  
sobre Sócrates é que ele viveu  
uma  
ascese de mosca.

## Pampa

O bioma da nossa Elis Regina, que deu vida eterna ao “Alô, alô Marciano” de Rita Lee em 1980:

Alô, alô Marciano  
Aqui quem fala é da Terra  
Pra variar, estamos em guerra  
Você não imagina a loucura  
O ser humano tá na maior fissura  
porque  
Tá cada vez mais down in the  
high Society...

O Pampa – “País da solidão” de Barbosa Lessa, em seu livro de 1984, “Rio Grande do Sul: Prazer em conhecê-lo” – “o país dos horizontes sem-fim, das silenciosas lonjuras”. Bioma da erva-mate dos guaranis que faz a identidade de seu povo com o chimarrão “da democracia”. (Figura 5)

## Mata Atlântica

A carta do mineiro de Itabirinha, escrita “À esquerda do Rio Doce, em 11 de setembro de 2020 – de Ailton

Krenak para quem quer cantar e dançar para o céu” chama o “Alô, alô Marciano” cantada por Elis:

*“Pensar o mundo pela lógica das disputas virou a razão da humanidade, como se essa ideia tivesse uma natureza própria. Em outras palavras, o verbo disputar virou verbo vida, passou a nomear o princípio das coisas do mundo. Mas como estar além da violência que confirma todos os dias o equívoco da narrativa que diz que o mundo foi criado para nos servir e que nós estamos aqui para incidir sobre ele? Como estar além? Como deixar de acreditar no mundo como uma plataforma extrativista? Como escapar desse vírus gigante homo sapiens, essa bactéria que come o planeta?”*

*“Quando defendo que precisamos voltar a sonhar é porque precisamos acreditar na criação de uma inteligência sutil, movente, para permitir que a vida, em sua diferença, coexista.”*

*“Por isso, quando o céu criar a pressão sobre a terra, digo a você que dance, que suspenda o céu! Os filhos da terra precisam cantar e dançar para que o céu possa dar uma atmosfera vital, necessária para o retorno das flores, dos pássaros, das borboletas, das matas, enfim, para a celebração da vida...”*

Sebastião Salgado, o mineiro de Aimorés – cidade com o nome comumente dado aos indígenas botocudos da região – é

fotógrafo da natureza e de gente.

O conhecimento adquirimos nos livros, nos artigos, em nossos laboratórios... mas a sabedoria é de quem saboreia a natureza... quem fala de onde vem, de onde é. Sebastião Salgado fotografa a dignidade dessa sabedoria. O fotógrafo nos encanta com seu amor ao planeta quando nos partilha o convívio harmônico do homem em belezas intocáveis da natureza. Sebastião Salgado nos comove com as alarmantes injustiças sociais e a matança dos seres vivos. Fotografa a complexidade na qual o mundo se encontra, e a incapacidade da humanidade em evoluir, com a necessidade de cometer os mesmos erros. A militância fotográfica de Sebastião Salgado nos convida a promover e exigir o diálogo, para que pessoas encontrem bases de coexistência pacífica para seus povos e a natureza.

Em sua terra natal recebeu do Pai uma fazenda, onde com a esposa e filhos decidiram reconstruir a Mata Atlântica dizimada – decisão que reuniu a “militância, profissionalismo, talento e generosidade” e nos faz “esperançar” por um remédio que ajude a cuidar das belezas da natureza e de seus seres vivos, a sarar a tristeza e refazer a coragem para lutar pela vida da Terra. (Figura 6)

**Laila S. Espindola** é professora titular da Universidade de Brasília (UnB), coordenadora do Laboratório de Farmacognosia - UnB. Também coordena o grupo de pesquisa CNPq - Biofármacos, desde 2002, com Acesso legal ao Patrimônio Genético. É conselheira da SBPC no Conselho de Gestão do Patrimônio Genético (CGen) e diretora da SBPC.



**Capa. Os povos e comunidades tradicionais no Brasil enfrentam ameaças, discriminações e um constante processo de desconsideração de sua importância histórica**

(Foto: Marcelo Camargo/ Agência Brasil. Reprodução)

## Povos tradicionais e os biomas brasileiros

*Eles estão em muitos lugares e fazem muito mais do que se reconhece*

Leonor Assad

No Brasil, povos e comunidades tradicionais são grupos culturalmente diferenciados que possuem formas próprias de organização social e que ocupam e usam territórios e recursos naturais como condição para sua reprodução cultural, social, religiosa, ancestral e econômica, utilizando conhecimentos, inovações e práticas gerados e transmitidos pela tradição. Essa definição consta na Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais ([PNDSPCT](#)), instituída em 2007 por meio do Decreto 6040. Nesse mesmo decreto constam ainda as definições de Territórios Tradicionais e de

Desenvolvimento Sustentável. Ainda que se reconheça amplamente que decretos não bastam para que direitos e deveres sejam reconhecidos, os artigos 215 e 216 da Constituição Federal de 1988 e o Decreto 6040 constituem marcos no longo e discriminatório processo de reconhecimento da

diversidade cultural brasileira.

Carlos Alberto Dayrell, doutor em Desenvolvimento Social e integrante do Núcleo Interdisciplinar de Investigação Socioambiental da [Universidade Estadual de Montes Claros \(Unimontes\)](#), aponta que os povos e comunidades tradicionais no Brasil enfrentam ameaças, discriminações e um constante processo de desconsideração de sua importância histórica.

Conforme aponta Paul Elliott Little no artigo "[Territórios sociais e povos tradicionais no Brasil](#)", os diversos processos de expansão de fronteiras no Brasil colonial e imperial – como a colonização do litoral no século XVI; as entradas ao interior pelos bandeirantes, a ocupação da Amazônia e a escravização dos índios nos séculos XVII e XVIII; o estabelecimento das *plantations* açucareiras e algodoeiras no Nordeste nos séculos XVII e XVIII; a expansão das fazendas de gado no Sertão do Nordeste e Centro-Oeste e as frentes de mineração em Minas Gerais e no Centro-Oeste, ambas a partir do século XVIII; e a expansão da cafeicultura no Sudeste nos séculos XVIII e XIX – resultaram na criação de territórios dos distintos grupos sociais decorrentes de diferentes formas de



**Figura 1. Atualmente, são reconhecidos no Brasil 28 povos e comunidades tradicionais.**

(Foto: Weverson Paulino/ Agência Brasil. Reprodução)

resistência bem como processos de acomodação, apropriação, consentimento, influência mútua e mistura entre todas as partes envolvidas. Assim, o conceito de povos tradicionais contém tanto uma dimensão empírica quanto uma dimensão política, de tal modo que as duas dimensões são quase inseparáveis.

## De Norte a Sul, eles estão por todo Brasil

Os povos indígenas são, conforme destaca Carlos Dayrell, os donos da terra posteriormente chamada Brasil: "os outros vieram depois e muitos foram massacrados". Dayrell destaca que "a visão eurocentrista nos séculos XV e XVI de que aqui era uma fronteira aberta habitada por indígenas, uma categoria inferior aos brancos europeus, foi responsável por um processo extremamente violento de ocupação, muitas vezes invisibilizado. As populações indígenas que viviam ao longo do litoral brasileiro foram as primeiras a serem atacadas, e constituíram as primeiras frentes de resistência, por vezes contraditórias, porque ora eram portuguesas, ora holandesas, ora francesas".

Atualmente, são reconhecidos no Brasil 28 povos e comunidades tradicionais. Além dos povos indígenas, são listados no Brasil: andirobeiras, apanhadores de sempre-vivas, caiçaras, catadores de mangaba, castanheiros, catingueiros, ciganos, cipozeiros, comunidades de fundo e fecho de pasto, extrativistas, faxinalenses, geraizeiros, ilhéus, isqueiros, morroquianos, pantaneiros, pescadores artesanais,

piaçaveiros, pomeranos, povos de terreiros, quebradeiras de coco babaçu, quilombolas, retireiros, ribeirinhos, seringueiros, vazanteiros e veredeiros. Levantamento feito para esta matéria, em diferentes fontes, aponta ainda a existência de outros 10 povos e comunidades tradicionais no Brasil, que se espalham por todos os biomas e que possuem diferentes histórias e culturas. São eles: os açorianos, as benzedadeiras e benzedeiros, os caboclos, os campeiros, os jangadeiros, as marisqueiras, os raizeiros, os sertanejos e os varjeiros (ribeirinhos não amazônicos). (Figura 1)

O reconhecimento de povos e comunidades tradicionais ocorre mediante um processo composto de dois estágios: o autorreconhecimento e a autoidentificação. Isso deve ser feito por meio de um documento elaborado pela comunidade, relatando sua história (como foi formada); sua ancestralidade (ou seja, os principais troncos familiares); suas manifestações culturais tradicionais, como festejos, rituais, religiosidades, práticas medicinais; suas atividades produtivas (extrativistas, agrícolas, agroflorestais, etc.) e demais informações que possam ser úteis no processo de autodeclaração como comunidade tradicional. É importante que as pessoas da comunidade se reconheçam como um grupo culturalmente diferenciado, com formas próprias de organização e ocupando um território específico, ainda que este lhe tenha sido retirado, invadido ou negado. Este documento deve incluir também uma descrição de suas práticas; uma reflexão sobre a importância de sua reprodução ou continuidade para o manejo e conservação/preservação do ambiente em que vivem e de suas tradições culturais originárias e outras práticas, advindas da ancestralidade, e como essas são transmitidas entre gerações na comunidade.

## Contribuição para o desenvolvimento científico e tecnológico

Em 2021 e 2022, a [Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência \(SBPC\)](#), com apoio do [Ministério da Ciência e Tecnologia \(MCTI\)](#), publicou uma série de sete volumes intitulada [“Povos Tradicionais e Biodiversidade no Brasil: Contribuições dos povos indígenas, quilombolas e comunidades tradicionais”](#), organizada por Manuela Carneiro da Cunha, Sônia Barbosa Magalhães e Cristina Adams. O estudo contou com a participação de mais de duzentos pesquisadores, entre acadêmicos, indígenas, quilombolas, membros de comunidades tradicionais e

técnicos de instituições públicas, que durante quatro anos (2018-2021), reuniram evidências e discutiram o importante papel desses povos e comunidades para o conhecimento da biodiversidade brasileira e sua importância para o país. Trata-se de obra fundamental para compreender a importância de povos indígenas, quilombolas e comunidades tradicionais, que representam a megadiversa população tradicional que vive e atua em um país biologicamente também megadiverso.

A engenheira florestal Renata Evangelista de Oliveira, professora do Departamento de Desenvolvimento Rural da [Universidade Federal de São Carlos \(UFSCar\)](#), destaca que a contribuição de

*“A visão eurocentrista nos séculos XV e XVI de que aqui era uma fronteira aberta habitada por indígenas, uma categoria inferior aos brancos europeus, foi responsável por um processo extremamente violento de ocupação, muitas vezes inviabilizado.”*

povos tradicionais para a ciência pode ser constatada de várias formas. “Primeiro pela grande riqueza de perfis, pois cada um desses povos tem uma relação diferenciada com a natureza; é o saber tradicional atrelado à diversidade. Segundo, porque eles mantêm uma relação respeitosa com os recursos naturais, que deve ser reconhecida e que muitas vezes falta no trabalho de cientistas”. Existe todo um saber tradicional associado a essa natureza que é base muitas vezes para a ciência e para a pesquisa. Renata de Oliveira destaca que muito do que sabemos atualmente de princípios ativos de compostos secundários vêm do conhecimento desses povos e comunidades. E acrescenta: “povos e comunidades tradicionais compreendem a dinâmica dos ecossistemas naturais, das espécies nativas na vegetação, sabem identificá-las e sabem o papel que elas possuem”. Segundo a professora, muitas vezes quando os pesquisadores vão a campo para estudar recursos naturais e espécies nativas, contratam mateiros para auxiliar na pesquisa sobre fauna e o comportamento das espécies – o que muitas vezes se torna base para os estudos.

Outro ponto importante é o saber de mulheres. Renata de Oliveira



**Figura 2. Os povos tradicionais dependem da natureza para sua reprodução social, cultural, econômica e a conhecem com muita profundidade.**

(Foto: manufaturadeideias. Reprodução)

aponta que existem vários grupos de mulheres que têm uma identidade de gênero até no nome desses povos. “Por exemplo, as quebradeiras de coco babaçu, as apanhadoras de sempre viva, as catadoras de mangaba, as marisqueiras”. Ou seja, existe uma questão de gênero e de cuidado feminino atrelado ao extrativismo e ao manejo. Também com relação à domesticação das espécies e a práticas de extrativismo, a pesquisadora aponta que temos produtos que produzem toneladas por ano e provêm de extrativismo: “ninguém cultiva capim dourado, babaçu, mangaba. Existe uma contribuição importante inclusive na continuidade da população dessas espécies. Muitas vezes nem nos damos conta do quanto o extrativismo subsidia o saber científico”.

Emmanuélly Maria de Souza Fernandes, em sua dissertação de Mestrado em Agroecologia defendida em 2022, avaliou a sustentabilidade e a capacidade de fornecimento de serviços ecossistêmicos dos subsistemas de um lote gerido por uma comunidade tradicional de matriz africana, cujo manejo preza a convivência harmoniosa com o ambiente, valoriza a biodiversidade, a conservação e o uso racional dos recursos naturais. Emmanuélly Fernandes constatou que a riqueza de espécies cultivadas para os rituais e para alimentação, atrelada ao aspecto cultural dos povos de terreiro, possui uma riqueza muito grande, que confere um papel importante para a conservação da Agrobiodiversidade.

Engenheiro agrônomo de formação, Carlos Dayrell

relata que ao longo de sua trajetória conheceu diversas experiências que evidenciam a importância da sabedoria indígena para a produção de alimentos. O pesquisador aponta que temos que aprender com os indígenas a desenvolver sistemas de produção e de consumo que respeitam a capacidade regenerativa dos ecossistemas. Ou seja, temos que reconhecer a importância desse conhecimento, essa sabedoria, para a nossa sobrevivência no futuro.

Muito do que sabemos de plantas alimentícias não convencionais (PANC), por exemplo, vem de comunidades tradicionais e não apenas das de matriz africana, como aponta Renata de Oliveira. Ela está orientando uma estudante do Pará, filha de parteira e benzedeira, que está estudando na comunidade em que vive, as plantas medicinais que são extraídas, cultivadas e utilizadas por mulheres que são erveiras, parteiras ou benzedeiras, fazendo um elo com a medicina tradicional. O objetivo é contribuir para a política nacional voltada para fitoterápicos, trazendo o conhecimento dessas mulheres para os postos de saúde.

Olívia Macedo Miranda de Medeiros, professora da [Universidade Federal do Norte do Tocantins \(UFNT\)](#), aponta que os povos tradicionais possuem uma percepção do ambiente em que vivem que lhes permite construir narrativas (descrições de plantas, animais, rios, serras, etc.) que subsidiam a ciência. Em artigo que trata da história de vida de Lucelina Gomes dos Santos, a Dona Juscelina, uma liderança da Comunidade Quilombola Dona Juscelina localizada em Muricilândia, no Tocantins, Olívia Medeiros afirma que os saberes tradicionais são transmitidos e preservados no cotidiano da comunidade por meio da oralidade, da música, da escrita, das romarias, da arte como um todo, do artesanato com palha de coco babaçu e do conhecimento do percurso do rio Muricizal. Ela acrescenta que esses saberes tradicionais constituem parte de uma ecologia de saberes, na qual os conhecimentos se interconectam e a experiência sociobiodiversa, em suas singularidades, é essencial à ciência como escuta e como arcabouço para novas e avançadas proposições científicas.

Adriana de Souza de Lima, da comunidade caiçara da Jureia, em São Paulo, e presidente da União dos Moradores da Jureia (UMJ), aponta que as comunidades caiçaras aprenderam ao longo dos séculos com a Mata Atlântica. Isto porque dependem dela para sua reprodução social, cultural, econômica e a conhecem com muita profundidade, desde os

seus ecossistemas associados, espécies e períodos de reprodução e toda dinâmica de vida existente nela, sendo capazes de enriquecê-la e aumentar a biodiversidade com suas práticas de manejo e governança.

Caiçara, educadora popular, e representante na [Coordenação Nacional das Comunidades Tradicionais Caiçaras](#) no [Conselho Nacional dos Povos e Comunidades Tradicionais \(CNPCT\)](#),

Adriana de Lima destaca que o modo de viver caiçara contribui para a preservação da Mata Atlântica porque possui um “sistema de uso simultâneo dos diferentes ambientes, sem desgastar ou super explorá-los”. E acrescenta, “por ser um modo de vida baseado no uso diversificado, utiliza a alternância para as práticas, de acordo com a época de cada

*“Povos e comunidades tradicionais compreendem a dinâmica dos ecossistemas naturais, das espécies nativas na vegetação, sabem identificá-las e sabem o papel que elas possuem.”*

cultura, respeitando a reprodução de cada espécie, conhecendo as espécies e o período certo de manejá-las". (Figura 2)

## As ameaças

O Estado Brasileiro deve reconhecer os povos e comunidades tradicionais bem como seus territórios, regularizando a situação fundiária dos territórios coletivos. A partir do autorreconhecimento de cada um deles, deve criar um plano de salvaguarda do seu modo de viver com suas práticas ancestrais. Adriana de Lima aponta que o Estado brasileiro também precisa reparar os danos causados pelos projetos governamentais e da iniciativa privada, exigir restauração das comunidades que assim

*"Ninguém cultiva capim dourado, babaçu, mangaba. Existe uma contribuição importante inclusive na continuidade da população dessas espécies. Muitas vezes nem nos damos conta de o quanto o extrativismo subsidia o saber científico."*

desejarem e o direito de retorno para as que foram expulsas de seus territórios. E acrescenta: "o processo de expropriação do território costeiro e marinho vem camuflando as várias formas de violência; querem nos expulsar dos lugares sagrados onde vivemos há séculos e querem nos ver longe das áreas costeiras e marinhas onde temos um modo de vida integrado. Por isso ameaçam nosso modo de viver, proíbem todas as práticas tradicionais e o direito de viver com dignidade. Essas ameaças vêm carregadas de racismo ambiental e violência psicológica".

Liana Amin Lima da Silva e Isa Lunelli, autoras de um [estudo](#) apontando múltiplas ameaças a que estão submetidos diversos povos e comunidades tradicionais, descrevem inúmeros casos de violações do direito de Consulta Prévia, Livre e Informada (CPLI) no Brasil, seja por ação ou omissão do Estado, seja por meio da crescente tentativa de empresas privadas de realizarem os processos de CPLI no país no curso de procedimentos de licenciamento ambiental. Adriana de Lima relata que as comunidades caiçaras, por exemplo, enfrentam inúmeras ameaças, tanto na forma de grandes empreendimentos (portos, condomínios de luxo, estradas, aterro dos manguezais) como o turismo de massa, a pesca predatória, a proibição das roças e extrativismo, o fechamento das escolas nas comunidades e legislações ambientais preservacionistas, unidades de conservação proteção integral, projetos de cessão das águas da união para a iniciativa privada e a privatização dos territórios onde vivem as comunidades.

A rigor, ainda que o Brasil tenha ratificado em 2002 a [Convenção 169](#), da Organização Internacional do Trabalho (OIT), que consolida o Direito à CPLI para intervir nessas áreas, Liana Amin e Isa Lunelli apontam vários exemplos de violações ou equívocos que evidenciam que o Estado brasileiro tem violado o dever e a obrigação de realizar essa consulta a povos e comunidades tradicionais afetados por grandes obras de infraestrutura. As autoras destacam o caso do licenciamento ambiental do empreendimento minerário na Volta Grande do Xingu ([Projeto Volta Grande de mineração](#), da mineradora canadense Belo Sun Mining Ltda), cujo parecer aponta as irregularidades do processo de consulta.

O [Observatório de Protocolos Comunitários](#) tem feito um levantamento de casos em todas as regiões do país, sendo que no primeiro levantamento de violações do direito à CPLI, em 2022, foram reunidos 82 casos. Liana Amin

e Isa Lunelli destacam estudo citado que “esse equívoco na transferência do dever de consulta vem sendo praticado não apenas pelo Judiciário e acatado pelo Ministério Público Federal, como tem se caracterizado uma orientação da própria Secretaria de Estado do Meio Ambiente”. Sobre este assunto, Joaquim Shiraishi Neto e colaboradores, dentre eles Liana Amin Lima da Silva, publicaram em 2021 o texto “[Quando o Estado não protege o seu povo](#)”, que apresenta na forma de livro o parecer explicitando as inconsistências da Resolução n.º 11, de 26 de março de 2020, que contém as deliberações do Comitê de Desenvolvimento do Programa Espacial Brasileiro (CDPEB) para execução da realocação de centenas de famílias quilombolas de Alcântara. Esta deliberação é uma das situações de violação do direito de do direito à CPLI. Os quilombolas do município de Alcântara, no Maranhão, vivenciam esta situação desde a década de 1980, quando se anunciou a instalação da base espacial do Centro de Lançamento de Alcântara, tem afetado a vida de centenas de quilombolas, sem que se conheça precisamente a profundidade dos impactos sobre as condições de reprodução física, social, cultural e étnica dessas comunidades. O caso foi levado à Corte Interamericana de Direitos Humanos e, em abril deste ano, o governo brasileiro emitiu uma [Declaração](#) reconhecendo as violações cometidas e manifestando publicamente um pedido de desculpas às 152 comunidades remanescentes de quilombos de Alcântara.

**Leonor Assad** é engenheira agrônoma, doutora em Ciência do Solo, especialista em divulgação científica, professora titular aposentada da Universidade Federal de São Carlos, e apaixonada por trabalhar e escrever sobre Ciência.



**Capa. Biodiversidade brasileira concentra mais de 13% da biota do planeta.**

(Fonte: Sharp Photography. Reprodução)

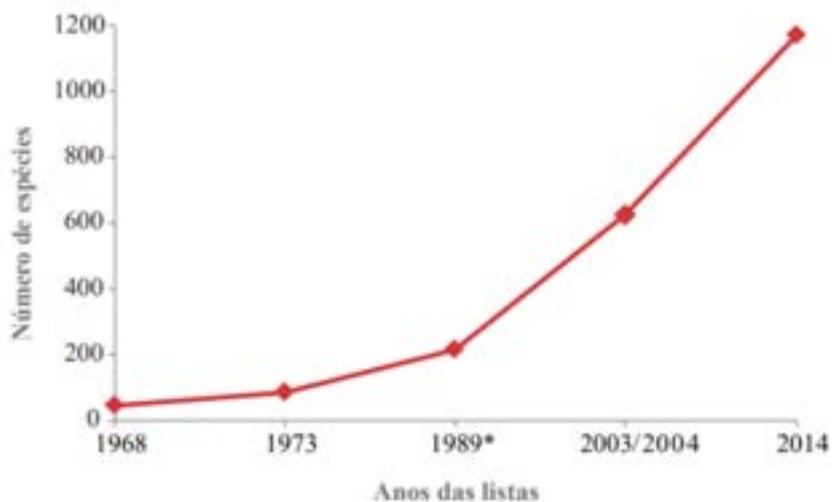
# Fauna brasileira: surpreendente, superlativa, em risco!

*Fauna tem um papel fundamental na manutenção regeneração das áreas verdes*

Patrícia Mariuzzo

Surpreendente, superlativa, megadiversa. Esses são alguns dos adjetivos associados à biodiversidade brasileira, que concentra mais de 13% da biota do planeta. Dos seis biomas do Brasil (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e

considerados *hotspots* – áreas com grande riqueza e endemismos, consideradas prioritárias para a conservação em nível mundial – o Cerrado e a Mata Atlântica. Conforme descreve o [Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção](#) (2018), compilações recentes indicam que entre os animais vertebrados há no Brasil cerca de 4.545 espécies de peixes, 1.080 de anfíbios, 773 de répteis, 1.919 de aves e 701 mamíferos. O Brasil é o país com maior número de espécies de anfíbios e primatas do mundo,



**Gráfico 1. Espécies ameaçadas por ano de publicação das listas, número tem sido crescente.**

(Fonte: Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção, ICMBio, 2018)

Também é o sexto país em endemismos de vertebrados, sendo as taxas mais altas para os anfíbios, com 57%, e os répteis, com 37%. A Amazônia é o bioma com maior riqueza de espécies da fauna, seguido da Mata Atlântica e do Cerrado.

A primeira lista de espécies ameaçadas de extinção publicada no Brasil é de 1968. Elaborada pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), então órgão ambiental competente, dessa lista constavam 44 espécies da fauna, incluindo mamíferos, aves e répteis. Desde então, o número de espécies ameaçadas tem sido sempre crescente em cada edição dessa lista oficial, e poucas espécies deixaram a lista. O mais urbanizado e fragmentado de todos os biomas brasileiros, a Mata Atlântica, é também o bioma com maior número de espécies ameaçadas: mais da metade delas (50,5%) se encontram nesse bioma, sendo que 38,5% são endêmicas. (Gráfico 1)

Ainda conforme o levantamento do *Livro Vermelho*, os principais fatores de pressão às espécies continentais estão relacionados às consequências de atividades agropecuárias, seja pela fragmentação e diminuição da qualidade do habitat em áreas em que a atividade está consolidada ou pelo contínuo processo de perda de habitat onde a atividade está em expansão. O segundo maior fator de pressão é a expansão urbana, seguido de empreendimentos para geração de energia, que incluem a construção de barragens e represas para empreendimentos

hidrelétricos, parques eólicos e linhas de transmissão. A poluição, seja industrial, urbana, ou agrícola, causada pelo uso de agrotóxicos, é a quarta ameaça que mais afeta as espécies continentais, atingindo principalmente os invertebrados – como caranguejos-de-rio e borboletas – mas afetando também peixes ósseos, aves, anfíbios, répteis e mamíferos.

Um levantamento mais recente, o "[1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade & Serviços Ecosistêmicos](#)", elaborado pela [Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos](#) (BPBES, da sigla em inglês) mostra esses dados. (Tabela 1)

A forma como cada um desses fatores impacta a degradação dos habitats e consequentemente os animais que neles habitam varia entre os biomas. "Cada espécie tem

*"As mudanças climáticas se juntaram aos fatores que alteram o equilíbrio dos ecossistemas e, consequentemente, a população das espécies da fauna em todos dos biomas brasileiros."*

um conjunto de adaptações para determinado habitat, com maior ou menor capacidade de se adaptar às modificações que por ventura ocorram naquele ambiente. Algumas espécies são extremamente sensíveis a qualquer mudança e essas são as primeiras a desaparecer localmente quando o ambiente se altera ou reduz de tamanho”, explica Marlúcia Martins, pesquisadora do [Museu Paraense Emílio Goeldi](#).

E o que torna algumas espécies mais sensíveis a alterações do ambiente? Alguns animais precisam, por exemplo, de uma certa área para se reproduzir ou para se relacionar com outras espécies. Quando essa área é reduzida pode haver uma extinção em nível local. “Se esse animal eventualmente possuir distribuição geográfica ampla, essa extinção local não será tão grave para a espécie, mas se ela só existe em uma área restrita, ficará ainda mais vulnerável à extinção. Daí nossa preocupação com essas espécies sensíveis porque sem seu habitat local, elas serão extintas de uma vez por todas”, alerta Marlúcia Martins.

### Uma chance a mais

A primeira lei que busca proteger a fauna silvestre no Brasil é a Lei de



**Figura 1. Campanhas de preservação beneficiam o habitat como um todo e não apenas a espécie alvo da campanha.**

(Fonte: [Leonardo Ramos](#). Reprodução)

03 de janeiro de 1967). Em 1992, o país tornou-se um dos signatários da [Convenção sobre Diversidade Biológica](#) (CDB), promulgada pelo Decreto nº 2.519 em 1998. Entre os compromissos assumidos pelos países membros da CDB destaca-se o desenvolvimento de estratégias, políticas, planos e programas nacionais de biodiversidade. Pouco tempo depois, no ano 2000, o país instituiu o [Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza](#) (SNUC, [Lei nº 9.985](#)). As unidades de conservação são espaços territoriais com limites definidos e com características naturais relevantes, legalmente instituídas pelo Poder Público, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias de proteção. Elas estão organizadas em dois grupos: Unidades de Proteção Integral, com regras e normas bastante restritivas, como as que valem nos parques nacionais. No

Bioma	% Ocupação do território	% Cobertura vegetal nativa remanescente	% Área total protegida	Fauna de vertebrados	Espécies ameaçadas
Amazônia	49	82	43,9	9.201	183
Caatinga	11	57	1,3	1.439	136
Cerrado	24	55	8,2	1.050	307
Mata Atlântica	13	28	11	2.420	598
Pampa	2	26	3,4	Não há dados confiáveis	79
Pantanal	1,8	73	6,5	1.117	36

**Tabela 1.** Levantamento do [1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade & Serviços Ecossistêmicos](#), elaborado pela Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos

(Fonte: 1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade & Serviços Ecossistêmicos)

conciliam a conservação da natureza com o uso sustentável de parte dos recursos naturais. É neste grupo que estão as Áreas de Proteção Ambiental (APAs).

Entre os principais objetivos do SNUC estão justamente contribuir para a conservação da variedade de espécies biológicas e dos recursos genéticos no território nacional e nas águas jurisdicionais e proteger as espécies ameaçadas de extinção. “O SNUC é a nossa melhor estratégia de conservação e proteção de todos os biomas brasileiros” pontua Marlúcia Martins. “Combinado com o Código Florestal, que legisla a organização das propriedades rurais para garantir a proteção de nascentes, margens dos rios, áreas de alta declividade, temos os instrumentos legais para proteger não só a biodiversidade, mas também garantir água potável para todos, menor ocorrência de desastres como inundações, deslizamentos e a produção de alimentos de qualidade. Se bem aplicado e gerido, e com apoio da população, esse modelo pode proporcionar melhor qualidade de vida para todos”, destacou a pesquisadora do Museu Goeldi.

Ela também ressalta a importância da educação ambiental e de campanhas que ajudem a explicar para o público leigo – especialmente para as pessoas que vivem em ambientes urbanos – sobre o impacto que a perda de uma espécie poderia causar no planeta. “A vantagem dessas campanhas é que as ações direcionadas ao salvamento da onça-pintada, mico-leão-dourado ou araras-azuis, por exemplo, em geral, levam em consideração o ambiente como um todo, e isso acaba melhorando as condições de outras espécies e não só da que está ameaçada”, explicou Martins. Nos biomas tudo está conectado. (Figura 1)

## Um mundo interligado

Não há fauna sem habitat. Conforme explica Marlúcia Martins, muitas vezes, a degradação e a redução da área do habitat vêm com o seu isolamento, o que também impacta na reprodução das espécies, colaborando para sua extinção. “Todas as áreas verdes – seja uma floresta, seja um fragmento de mata em uma área de cultivo, até parques urbanos – podem funcionar como corredores para indivíduos de vários biomas, viabilizando sua

*“A perda de qualquer espécie é grave porque em cada bioma se estabelecem interconexões entre todos os seres que ali habitam, seja como alimento, como polinizador.”*

comunicação com indivíduos da mesma espécie, de outras espécies, assim como o acesso ao alimento e à água. Esses corredores verdes são muito importantes na manutenção da fauna”, aponta.

Da mesma forma que os animais dependem do habitat para se alimentar, se reproduzir, para viver, a fauna tem um papel fundamental na manutenção regeneração das áreas verdes. Para entender essa função precisamos entender como as plantas se reproduzem e de como esse processo é dependente da polinização feita por animais. “A polinização é a garantia de que as plantas vão se reproduzir, vão gerar flores, frutos e dar origem a novas plantas”, lembra a pesquisadora do Museu Goeldi. Abelhas, besouros, borboletas e muitos desempenham essa função e, com a degradação de seus habitats, esse processo entra em risco. Isso sem falar nos impactos na produção de alimentos.

Outro exemplo das interações entre fauna e flora é a dispersão das sementes pelos animais dispersores como pássaros, insetos, macacos e roedores. Ainda segundo Marlúcia Martins, um papel importantíssimo, mas pouco conhecido, é o de regulação do ecossistema. “Algumas plantas competem



**Figura 2. Limpa-Folha-do-Nordeste. Espécie não resistiu à perda de habitat no Nordeste.**

(Fonte: <https://ebird.org/species/alfgle1?siteLanguage=es>. Reprodução)

entre si por espaço, por luz, podendo sufocar outros indivíduos. Quando alguns animais herbívoros se alimentam dessas plantas, eles equilibram o sistema como um todo”, explicou.

## Um mundo em desequilíbrio

Mais recentemente, as mudanças climáticas se juntaram aos fatores que alteram o equilíbrio dos ecossistemas e, conseqüentemente, a população das espécies da fauna em todos dos biomas brasileiros. O boto-cor-de-rosa é apenas um dos tristes exemplos recentes. Símbolo da biodiversidade da Amazônia, ele já está na lista de mamíferos ameaçados de extinção por conta de modificações ambientais provocadas por barramentos e a prática de pesca insustentável. Desde o fim do mês de setembro, pelo menos 150 botos-cor-de-rosa e tucuxis (outro golfinho da Amazônia) morreram por conta das altas temperaturas e da estiagem considerada a mais severa na região nos últimos 100 anos na Região.

Conforme explica a pesquisadora do Instituto de [Desenvolvimento Sustentável Mamirauá](#), Miriam Marmontel, a região do médio Rio Solimões, que juntamente com o Rio Negro formam o Rio Amazonas, com foco no Lago Tefé, experimentou o primeiro caso de UME (*unusual*

*mortality event*, ou evento de mortalidade incomum) de botos amazônicos, atrelado às altas temperaturas registradas, em combinação com um evento de seca extrema, péssima qualidade do ar e extraordinariamente baixa umidade do ar. “Ainda não descartamos a possibilidade de uma causa multifatorial, mas não há dúvida de que o calor intenso desempenhou um papel fundamental na crise”, disse.

Os botos evoluíram na região amazônica, por isso se adaptaram ao subir e descer das águas, conseguem adentrar a mata alagada e caçar peixes em seu interior, explica Miriam Marmontel. “Toda a sua anatomia é adaptada para esse ambiente, permitindo uma flexibilidade ímpar para contornar os troncos das árvores alagadas. Eles são do mundo aquático, conseguem lidar com cheias extremas – mas não com secas extremas ou extremos de calor”, explica. Ainda segundo a pesquisadora, os cetáceos produzem calor e mantêm temperatura corporal constante, em torno de 37 °C. Eles também desenvolveram outros mecanismos para livrar-se do calor ou para poupá-lo em um ambiente onde a perda de calor é bem maior do que no ambiente terrestre. Mas a mesma gordura que lhes proporciona proteção térmica, hidrodinâmica, controle da flutuação e estoque de energia, pode se tornar uma armadilha nos trópicos porque os botos não têm glândulas sudoríparas. Se a temperatura de um animal aumenta em 10 °C, sua taxa metabólica provavelmente dobrará e prejudicará todo o equilíbrio bioquímico, levando o organismo a um colapso. “A probabilidade de que eventos como este voltem a acontecer é muito alta já a partir do próximo ano, quando se estima que o efeito do El Niño que estamos vivenciando agora seja ainda mais forte. Como vem alertando os meteorologistas, eventos de secas e cheias extremas vão ocorrer com mais intensidade e frequência nas próximas décadas, em função das mudanças climáticas”, alertou.

## O valor da vida

Não há como recuperar um animal extinto da natureza, a extinção é irreversível. No Brasil, dez espécies foram consideradas extintas, algumas recentemente. Uma delas é o limpa-folha-do-nordeste, cuja ocorrência era restrita a apenas três localidades nos estados do Alagoas e Pernambuco. Na *Lista* de 2014, este pequeno pássaro endêmico e raro foi classificado como criticamente em

perigo, mas em 2018 foi considerado extinto, ou seja, quando não restam quaisquer dúvidas de que o último indivíduo tenha morrido. “A estrutura dos remanescentes de mata onde o limpa-folha vivia foi tão alterada que não havia mais bromélias, das quais a espécie parecia ser dependente”, segundo a *Lista Vermelha*. Uma planta, uma espécie, uma relação delicada e insubstituível. (Figura 2)

A perda de qualquer espécie é grave porque em cada bioma se estabelecem interconexões entre todos os seres que ali habitam, seja como alimento, como polinizador. A redução das populações ou a extinção colocam em risco outras espécies, seja da fauna, seja

*“Atualmente estamos vivenciando um processo de extinção maciça, ou seja, a quantidade de espécies extintas nos últimos 100 anos no planeta por conta das atividades humanas já é maior do que todos os eventos de extinção que aconteceram em eras geológicas passadas.”*

da flora, colocando essa cadeia de elos e ligações em desequilíbrio. Conforme explica Marlúcia Martins, em cada extinção há o risco do chamado efeito em cascata, de extinções subsequentes.

Atualmente estamos vivenciando um processo de extinção maciça, ou seja, a quantidade de espécies extintas nos últimos 100 anos no planeta por conta das atividades humanas já é maior do que todos os eventos de extinção que aconteceram em eras geológicas passadas. “Isso é fruto da ação humana e será agravado pelo aquecimento global que vai atingir de maneira indiscriminada um conjunto enorme de espécies”, afirma a pesquisadora. Entender a importância de preservar esse equilíbrio do qual depende a sobrevivência da fauna em todos os biomas é crucial, assim como compreender que a extinção é um processo definitivo. “Trata-se de um compromisso ético com a vida: do mesmo jeito que nós existimos, outras espécies têm o mesmo direito de existir”, finaliza.

**Patrícia Mariuzzo** é divulgadora de ciência e coordenadora de comunicação do projeto HIDS Unicamp (Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável).



Capa. Biomas brasileiros guardam ingredientes valiosos para a saúde e o bem-estar  
(Foto: ComCiência/ Unicamp. Reprodução)

## Farmácia natural brasileira: biomas como berços para a criação de medicamentos

*Plantas, animais e microrganismos guardam “receitas” para a saúde e o bem-estar, mas desafios põem em cheque o potencial desses recursos*

Bianca Bosso

A [Política e Programa Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos](#), criada em 2006 e detalhada em 2008 pelo [Ministério da Saúde \(MS\)](#), foi implementada para regulamentar, estimular e promover o acesso seguro e sustentável a uma prática que já era comum no país há séculos: o uso de recursos naturais como medicamentos. Antes mesmo da colonização, em meados

de 1500, a rica biodiversidade contida em cada bioma brasileiro e o conhecimento milenar dos povos nativos já se uniam e se transformavam em ferramentas poderosas para promover a cura, o bem-

estar e a saúde da comunidade de forma natural. Ao longo dos anos, os saberes e práticas tradicionais passaram por diferentes processos de lapidação e foram combinados com conceitos trazidos pelas comunidades europeias e africanas que chegaram no país, criando uma medicina natural fértil e essencialmente brasileira.

O passar do tempo não diminuiu o interesse pelas propriedades medicinais de plantas, microrganismos e animais. Em paralelo ao desenvolvimento de novas técnicas e tecnologias para explorar o potencial da natureza, diversos remédios importantes com bases naturais foram descobertos e aprimorados. Um marco importante no Brasil se deu em 2009, quando, com o intuito de incentivar e orientar pesquisas para a elaboração de fitoterápicos seguros e eficazes, o MS lançou a [Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao Sistema Único de Saúde \(ReniSUS\)](#). A proposta do projeto era direcionar novos estudos que resultassem em produtos viáveis para distribuição via [Sistema Único de Saúde \(SUS\)](#), favorecendo o acesso a medicamentos de qualidade para as mais diversas



**Figura 1. O caju, assim como a pitanga, o guaco e o maracujá, são algumas das plantas brasileiras que integram a Relação**

(Foto: Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública. Reprodução)

---

condições. Nomes conhecidos como caju, pitanga, guaco e maracujá são algumas das plantas brasileiras que integram essa relação e vêm sendo estudadas para substituir ou potencializar os efeitos de remédios sintéticos. (Figura 1)

Letícia Lotufo, professora do [Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo](#) (ICB/USP) e membro da coordenação do [Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade do Estado de São Paulo \(BIOTA/FAPESP\)](#), destaca que, além dos chás e extratos artesanais feitos há séculos a partir dessas plantas, hoje, alguns dos medicamentos industrializados mais difundidos, como a aspirina e a histatina, também têm seus princípios ativos baseados em recursos naturais – especialmente microrganismos e plantas. O Caderno de Atenção Básica número 31 do MS dá suporte às explicações da pesquisadora, revelando que cerca de 25% de todos os medicamentos modernos são derivados de plantas medicinais, com um enfoque na aplicação de tecnologias modernas ao conhecimento tradicional. O documento também destaca que o mercado de medicamentos naturais já é responsável por movimentar bilhões de dólares anualmente no mundo todo e afirma que, somente no Brasil, em 2012, ele promoveu a rotação de até US\$ 550 milhões.

## Desafios

Em contrapartida à grande diversidade biológica abrigada em seu território, aos conhecimentos tradicionais

presentes na genética do povo, às políticas de incentivo e ao tamanho das demandas do mercado, a produção sistematizada de medicamentos naturais baseados em nativos brasileiros ainda parece enfrentar desafios e lacunas significativas. “Produzimos muitas pesquisas, mas é uma cadeia quebrada”, explica Maria Beatriz Bonacelli, professora do [Departamento de Política Científica e Tecnológica da Universidade Estadual de Campinas \(DPCT/UNICAMP\)](#). “Exportamos muito os insumos, as matérias-primas cultivadas aqui, mas elas são processadas, beneficiadas e testadas no exterior para, só então, voltarem para cá como importação”, acrescenta a pesquisadora.

O processo indicado por Bonacelli pode dificultar e, até mesmo, encarecer o acesso aos medicamentos naturais pela população brasileira. No entanto, esse foi somente um dos desafios identificados pela equipe da pesquisadora durante o projeto transdisciplinar “Prospecção e Priorização Técnico-produtivas para a Integração da Cadeia de Fitoterápicos Amazônicos”, financiado pela Fapesp e Fapeam, que está em execução desde 2021 com o objetivo de contribuir para um maior protagonismo da Região Amazônica no avanço técnico-científico e na produção de fitoterápicos. Nadja Lepsch-Cunha, que também coordena o estudo e atua no [Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia \(INPA\)](#), cita que há a necessidade de ampliar o investimento em pesquisas de base, intensificar a aplicação das regulamentações e estimular as trocas entre os mais diversos níveis da cadeia produtiva a fim de tornar a exploração dos biomas brasileiros mais eficaz para a criação de remédios seguros, eficientes e sustentáveis.

Letícia Lotufo destaca que a preservação da natureza também é um desafio a ser levado em conta. “Temos que cuidar da natureza. Lá, estão guardados muitos produtos naturais, alguns que nem conhecemos ainda e que podem inspirar o desenvolvimento de medicamentos”, explica. “Sendo assim, a produção de um medicamento nunca pode ser baseada no extrativismo de um produto natural, não podemos coletar toneladas de uma planta ou de um animal, para criar um medicamento. Esse desenvolvimento só faz sentido se a gente basear o processo em uma fonte renovável”, completa.

Como possível alternativa para aprimorar o processo de desenvolvimento desses medicamentos de forma eficiente e sustentável, Jéssica Aline Silva Soares,

farmacêutica clínica e especialista em Saúde, Bem-Estar e Fitoterapia, defende que a reincorporação dos saberes das comunidades tradicionais de forma não-hierarquizada é uma etapa essencial para avançar nas pesquisas fitoterápicas nos biomas brasileiros. “O conhecimento tradicional, hoje, entra em uma perspectiva inferiorizada em relação ao conhecimento científico por conta de um processo em que a Ciência foi, por muito tempo, usada como ferramenta de poder”, reflete a pesquisadora. “É urgente pensar em caminhos para equilibrar a produção sustentável de fitoterápicos com a proteção das comunidades tradicionais, colocando essas pessoas como protagonistas, permitindo que entrem na academia, e tudo isso por uma perspectiva não-exploratória.

*“A produção de um medicamento nunca pode ser baseada no extrativismo de um produto natural, não podemos coletar toneladas de uma planta ou de um animal, para criar um medicamento.”*

Assim, poderemos fortalecer as cadeias produtivas e usar esses recursos de forma responsável”, acrescenta. (Figura 2)

## Iniciativas

O projeto “Encontro de Saberes”, adotado por diversas universidades brasileiras desde 2010 para favorecer a integração de conhecimentos para além da academia nas pesquisas acadêmicas, se destaca como uma iniciativa positiva para trilhar o caminho mencionado por Soares. A proposta permite que mestres e mestradas tradicionais compartilhem ensinamentos na posição de docentes no ensino superior, trazendo à tona saberes extra-acadêmicos que podem embasar novas pesquisas ou abordagens sobre diversos campos – incluindo pesquisas sobre medicamentos naturais.

*“É urgente pensar em caminhos para equilibrar a produção sustentável de fitoterápicos com a proteção das comunidades tradicionais, colocando essas pessoas como protagonistas.”*



**Figura 2. É fundamental reconhecer e valorizar os conhecimentos tradicionais sobre os recursos naturais da biodiversidade brasileira.**

(Foto: Fiocruz. Reprodução)

Além de ampliar o compartilhamento de informações e o contato entre diferentes instâncias conhecedoras dos biomas brasileiros, unir e sistematizar esses conhecimentos, bem como relacioná-los com as demandas da população, também podem ser passos essenciais para aproveitar o potencial dos biomas brasileiros. Com essa proposta, o site [“Fitoterapia Brasil”](#) funciona como um portal nacional que visa sistematizar e garantir acesso a saberes antes dispersos em documentos físicos e digitais. O portal, que pretende auxiliar o cumprimento das metas da [Política e Programa Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos](#), reúne dados sobre diferentes espécies, grupos de pesquisa, eventos e legislações que tratam de plantas medicinais, além de abas sobre biodiversidade, educação e arte, por exemplo.

Por parte do governo, as Farmácias Vivas são outra maneira de aproximar, compartilhar e compilar dados sobre a relação da comunidade com os medicamentos naturais. Nesses locais, plantas medicinais nativas e exóticas são cultivadas, prescritas e distribuídas via SUS. “No Brasil, levantamos mais de 180 Farmácias Vivas e cada uma tem um modelo muito próprio, embora todas estejam ligadas à Secretaria de Saúde do Município”, lembra Maria Beatriz Bonacelli. Nadja Lepsch-Cunha completa que a atuação desse sistema ocorre de forma diferente em cada município.

“Vimos Farmácias Vivas formadas por uma só pessoa no interior do Ceará, onde o governador apoia e a pessoa anda pelo estado inteiro capacitando pessoas para prescrever fitoterápicos, no caso, basicamente, chás”, explica. “Em outros locais, já se produz extratos, cápsulas... Por exemplo, há uma organização bacana em Jardinópolis, onde montaram uma Farmácia Viva que recebe um orçamento regular da prefeitura e tem oito médicos voluntários”, completa.

## Um alerta

Apesar de iniciativas como essas contribuírem para a expansão das pesquisas, do uso e do conhecimento sobre plantas medicinais, especialmente aquelas provenientes dos biomas brasileiros, Jéssica Aline Silva Soares enfatiza a necessidade de uma maior integração com a sociedade no contexto brasileiro para aproveitar plenamente o potencial dos recursos disponíveis em nossos biomas. “Considerando a riqueza da biodiversidade que temos à nossa disposição e falando como fitoterapeuta, vejo um cenário promissor para os próximos anos, graças aos avanços nas políticas públicas e pesquisas relacionadas ao uso desses recursos, por meio das quais podemos fortalecer e cumprir as políticas públicas”, afirma. “No entanto, se não refletirmos sobre como incorporar essas pesquisas ao contexto do nosso país, acredito que a lacuna em relação às necessidades sociais ainda representará um obstáculo para o desenvolvimento dessa área”, conclui.

**Bianca Bosso** é especialista em Jornalismo Científico e Bacharela em Ciências Biológicas (Unicamp). Iniciou sua trajetória na Divulgação Científica no ano de 2018. Já desenvolveu pautas para revistas como Ciência & Cultura, ComCiência e Ciência Hoje, além de sites como Agência Bori, Jornal da Unicamp, Portal Campinas Inovadora e blog Ciência na Rua.

*“Considerando a riqueza da biodiversidade que temos à nossa disposição e falando como fitoterapeuta, vejo um cenário promissor para os próximos anos, graças aos avanços nas políticas públicas e pesquisas relacionadas ao uso desses recursos.”*



Capa. A atual seca na Amazônia deixa evidente sua situação de fragilidade para lidar com as adversidades climáticas. (Foto: Defesa Civil AM. Reprodução)

# Crise hídrica: a resiliência dos biomas brasileiros diante das mudanças climáticas

*Para além dos ciclos naturais, como a influência humana agrava o problema da crise hídrica no país*

Priscylla Almeida  
João Nogueira

A crise hídrica de 2023 no Amazonas atinge proporções históricas e sem precedentes, impactando mais de 600 mil habitantes, de acordo com informações divulgadas pela Defesa Civil. Enquanto a Amazônia enfrenta essa severa escassez de água, a região Sul do Brasil é assolada por precipitações intensas. Esses

eventos são, em parte, atribuídos ao fenômeno climático *El Niño*, que provoca condições de seca no Norte e chuvas abundantes no Sul do país. Até o momento neste ano, um total de 5,8 milhões de pessoas se viram afetadas por chuvas intensas e prolongadas secas, segundo dados reunidos pela [Confederação Nacional dos Municípios](#).

Já em 2021 o Brasil presenciava o que parecia ser sua pior crise hídrica, com precipitações mais baixas dos últimos 91 anos. Risco de contaminação com o uso de volume morto dos reservatórios, aumento tarifário em torno de 130% ocasionado pelo uso de combustíveis fósseis por usinas termelétricas,

prejuízos na agricultura que geram inflação no preço final de alimentos... Esses são apenas alguns dos danos socioeconômicos presenciados pela população brasileira. “A depender da magnitude e frequência dos eventos extremos e de suas consequências nas alterações dos ecossistemas, podemos chegar em um ponto de não retorno, onde não há mais condições de regeneração. Isso é realmente alarmante”, declara Vânia Rosa Pereira, pesquisadora do [Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura \(Cepagri\)](#) da [Universidade Estadual de Campinas \(Unicamp\)](#).

A crise hídrica no país é o resultado direto da degradação dos biomas brasileiros, cujas recorrentes secas e escassez têm papel crucial no ciclo hidrológico e na disponibilidade de água. O efeito cascata é literal: com a redução das chuvas ao permitir o avanço do desmatamento nos biomas brasileiros, a produção econômica despenca, empobrece o país e agrava a insegurança alimentar da população, ocasionando em uma necessidade emergencial de ações integradas de políticas ambientais e humanitárias. (Figura 1)

## Como as mudanças climáticas estão alterando os recursos hídricos no país?

O número de desastres naturais causados pelas mudanças climáticas aumentou cinco vezes em 50 anos e matou mais de duas milhões de pessoas, segundo a [Organização Meteorológica Mundial \(OMM\)](#), agência ligada às [Nações Unidas \(ONU\)](#). As mudanças climáticas têm provocado alterações nos padrões de precipitação, nas temperaturas, nos níveis e na qualidade da água em áreas costeiras, na fenologia das plantas, no funcionamento dos ecossistemas e, além disso, têm afetado a distribuição da biodiversidade, inclusive de vetores transmissores de doenças. Tais mudanças interagem com diversos fatores de pressão sociais e ambientais, cujos potenciais impactos se amplificam cada vez mais. “Já é sabido que os eventos climáticos têm se comportado de maneira mais intensa do que usual. E embora as previsões estejam disponíveis com antecedência, associadas a um conhecimento científico consolidado mostrando que os eventos meteorológicos, como as chuvas e as estiagens têm sido mais intensas do que usual, o que tem faltado são medidas preventivas que nos capacitem a um melhor enfrentamento dessas condições extremas”, declara Pedro Luiz Côrtes, professor do Instituto de Energia e Ambiente

da [Universidade de São Paulo \(USP\)](#), pesquisador em políticas públicas de combate às mudanças climáticas e revisor de relatórios do [Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas \(IPCC\)](#) da ONU. “Discussões que deveriam ser pautadas com urgência, como, por exemplo, o que fazer diante da emergência climática, acabam perdendo espaço para outros temas que parecem preocupar mais os políticos do que essas situações extremas que temos vivido”.

## Impactos nos biomas brasileiros

Segundo maior bioma do país, o Cerrado enfrenta uma devastação desenfreada e atingiu o topo no ranking do desmatamento. Somente nos últimos 12 meses, mais de 6,3 mil km<sup>2</sup> foram derrubados, de acordo com o [Sistema de Detecção de](#)

*“A depender da magnitude e frequência dos eventos extremos e de suas consequências nas alterações dos ecossistemas, podemos chegar em um ponto de não retorno, onde não há mais condições de regeneração.”*

### Desmatamento em Tempo Real (Deter).

Em 50 anos, metade de sua vegetação original já não existe mais. Irregularidades na concessão de licenças, falta de fiscalização e o fato de possuir apenas 10% de sua área protegida deixa a região vulnerável ao avanço do desmatamento em propriedades privadas, sendo o agronegócio seu principal causador. O Cerrado é a savana com maior biodiversidade em fauna e flora do mundo e é o berço de 8 entre as 12 principais bacias hidrográficas do Brasil. (Figura 2)

A atual seca no bioma Amazônico deixa evidente sua situação de fragilidade para lidar com as adversidades climáticas. Além disso, a contaminação da água por agrotóxicos, pulverização aérea, redução da água, deslocamento forçado de povos tradicionais, milícias rurais, entre outros fatores, enfraquecem comunidades inteiras e colocam em risco a questão hídrica e energética com impacto humano e urbano. "A Amazônia vive o paradoxo de que, embora conhecida por sua alta disponibilidade hídrica, atualmente possui baixíssimas condições de segurança hídrica. É o bioma que registra déficits marcantes de instrumentos básicos de gestão dos recursos hídricos, saneamento básico, infraestrutura, governança e articulação local em relação aos recursos hídricos", aponta Vânia Pereira.



**Figura 1. A crise hídrica no país é o resultado direto da degradação dos biomas brasileiros, cujas recorrentes secas e escassez têm papel crucial no ciclo hidrológico e na disponibilidade de água.**

(Foto: Sabesp. Divulgação)

Na Mata Atlântica, o bioma ocupado por mais de 70% da população brasileira atualmente possui apenas 12,4% da cobertura de sua vegetação original, resultado do desmatamento que acentua o quadro de eventos climáticos, como o temporal devastador ocorrido no litoral paulista que matou 65 pessoas em fevereiro deste ano.

Já a Caatinga possui um histórico de déficit hídrico devido a longas estiagens sazonais, tornando seus rios intermitentes. No entanto, o problema é agravado pela retirada significativa de água para a agricultura irrigada e áreas urbanas. Mesmo com instrumentos de gestão existentes, as crises hídricas persistem. Além disso, a Caatinga tem as piores condições de saneamento básico do país. As projeções para o futuro indicam redução nas vazões e aumento de secas extremas, tornando a região ainda mais vulnerável em termos de quantidade e qualidade de água. Fatores socioeconômicos, como a falta de infraestrutura e saneamento, pobreza e agricultura de sequeiro são as principais vulnerabilidades diante das mudanças climáticas nesse bioma.

No Pantanal, a falta de infraestrutura e saneamento básico, juntamente com um fraco monitoramento da qualidade da água, representa uma séria preocupação para a segurança hídrica. Embora haja uma grande quantidade de água disponível atualmente, a capacidade de resposta a eventos de seca extrema é limitada devido à frágil governança regional. Projeções climáticas futuras apontam para um aumento de secas excepcionais, o que pode resultar em mudanças significativas nos

períodos de inundação. Isso tornaria a região ainda mais suscetível à poluição difusa, contaminação da água subterrânea e perda da biodiversidade.

Já nos Pampas, atualmente caracterizado por uma alta disponibilidade de água e um bom acesso a serviços de saneamento, o aumento da demanda de água, principalmente para a produção de arroz irrigado, gera o potencial aumento da poluição e contaminação do lençol freático. “Os conflitos pelo uso múltiplo da água e perdas de biodiversidade podem ser amplificadas”, alerta Vânia Pereira.

## Ações para mitigar os efeitos

Tradicionalmente, o Brasil tem adotado um modelo de gerenciamento de crises para enfrentar situações de seca. Isso implica na tomada de medidas reativas e emergenciais somente após a ocorrência da escassez de água, concentrando-se na mitigação dos efeitos da seca. No entanto, esse enfoque não contribui para fortalecer a resiliência do sistema diante de crises futuras. “Não temos que esperar o que quer que aconteça durante o pico do evento climático para agir. É importante que haja o monitoramento contínuo de condições que podem levar a uma redução do número de reservatórios, por exemplo, sempre considerando algo contínuo, que não pode parar”, analisa José Antonio Marengo, coordenador-geral de Pesquisa e Desenvolvimento do [Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais \(CEMADEN\)](#). O CEMADEN realiza monitoramento de secas e risco de fogo nas principais bacias do país, seja para avaliação de disponibilidade para consumo humano ou para geração de energia. Este monitoramento começou em 2013 devido à crise energética em São Paulo e se estendeu para outras bacias estratégicas.

O [Monitor de Secas do Brasil](#), gerenciado pela [Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico \(ANA\)](#) e o sistema de monitoramento dos efeitos da seca realizado pelo CEMADEN são ferramentas que produzem a classificação da intensidade da seca como resultado de suas atividades. Em 2022 foi lançada a segunda edição do [Atlas Águas](#), um estudo que visa identificar vulnerabilidades no abastecimento de água nas áreas urbanas e recomendar medidas de gestão para garantir a segurança hídrica. O estudo destacou a necessidade de investimento de R\$ 110 bilhões em infraestruturas de produção e distribuição de água até 2035, sendo 76% deste investimento necessário para as regiões Sudeste e Nordeste devido à alta densidade populacional nesses locais.

Atualmente, a Defesa Civil de estados e municípios

emitem alertas à população presente em áreas onde a previsão meteorológica apresenta iminente risco de evento climático. Contudo, esses alertas ainda possuem baixa adesão e efetividade, já que é necessário o cadastro voluntariamente pela pessoa interessada. “Não somente os alertas devem ocorrer de forma contundente, mas há medidas que podem ser tomadas localmente pelos governos, como organização de rotas de fuga, indicando onde buscar abrigo e outras de cunho estrutural, onde a população pode sair das áreas de risco para ocupar áreas com condições dignas de habitação, pois, as pessoas não vão para a

*“Embora as previsões estejam disponíveis com antecedência, associadas a um conhecimento científico consolidado mostrando que os eventos meteorológicos, como as chuvas e as estiagens têm sido mais intensas do que usual, o que tem faltado são medidas preventivas que nos capacitem a um melhor enfrentamento dessas condições extremas.”*

área de risco porque elas querem, elas vão por falta de opção”, analisa Pedro Côrtes.

Paralelamente, é fundamental investir em uma cultura de conscientização, resultando em uma sociedade que seja minimamente sustentável, mais preparada e engajada na preservação dos recursos hídricos, com uma maior visão de longo prazo. “É impossível conter os eventos que vão acontecer, mas devemos minimizar, sobretudo, a perda de vidas humanas”, pontua José Antonio Marengo.

Ao adotar medidas que promovem uma gestão preventiva ao invés de reativa, nos aproximamos do conceito da segurança hídrica, pontuado pelo estudo [Vulnerabilidades da segurança hídrica no Brasil frente às mudanças climáticas](#), de Vânia Pereira em colaboração com Daniel Andrés Rodriguez, do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da [Universidade Federal do](#)

*“É importante que haja o monitoramento contínuo de condições que podem levar a uma redução do número de reservatórios, sempre considerando algo contínuo, que não pode parar.”*



**Figura 2. Segundo maior bioma do país, o Cerrado enfrenta uma devastação desenfreada e atingiu o topo no ranking do desmatamento.**

(Foto: Marcelo Camargo/ Agência Brasil. Reprodução)

[Rio de Janeiro \(UFRJ\)](#). “O termo é de imensa relevância no contexto atual, cujo planejamento precisa considerar a incerteza e a não estacionaridade do clima, buscando um olhar para além das questões ligadas à segurança energética, alimentar e socioambiental”, enfatiza. Essa abordagem visa assegurar o acesso sustentável à água de qualidade, atendendo às necessidades humanas, econômicas, ambientais e sociais, enfrentando os desafios presentes e futuros relacionados à água.

A crise hídrica que o Brasil enfrenta, agravada pelas mudanças climáticas, demanda uma resposta proativa e emergencial por parte da nação. Para encarar esse desafio, é imperativo promover uma mudança de paradigma, transicionando de uma abordagem reativa para uma estratégia de segurança hídrica preventiva. Este novo enfoque envolve a alocação de recursos em monitoramento ininterrupto, infraestrutura hídrica, sistemas de alerta eficazes e, sobretudo, em fomentar uma cultura de conscientização e preservação dos recursos hídricos. “Temos que atuar em uma nova dinâmica que precisa ser corretamente assimilada pelos gestores públicos e a população precisa ser permanentemente informada para que ela possa cobrar isso dos gestores e estar ao menos mais precavida. Nós não conseguimos evitar a perda econômica e a perda de bens materiais, mas é fundamental que consigamos salvar vidas”, declara Pedro Côrtes.

**Priscylla Almeida** é jornalista e produtora de conteúdo para áreas de saúde e ciência, marketing e publicidade. Apaixonada por filmes, gatinhos e pela rotina dinâmica que a comunicação traz: o contato com gente, a curiosidade de assuntos diversos, a troca.

**João F. F. Nogueira** é desenvolvedor de software, professor e pesquisador. Transita por diversos temas, das ciências humanas às exatas, sempre estudando algo novo. Adora jogar videogame quando não está viajando.



Capa. Combustíveis fósseis prejudicam meio ambiente e intensificam o efeito estufa.

(Foto: Pedro Martinelli/ ISA. Divulgação)

# O consumo de combustíveis fósseis e o alarmante efeito nos biomas brasileiros

*Avanços da matriz energética brasileira e os desafios no cenário atual das mudanças climáticas*

Priscylla Almeida

O mundo tem até 2030 para reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 43%, se quiser impedir consequências climáticas irreversíveis decorrentes do aumento de 1,5 grau Celsius do aquecimento global, segundo o último [relatório divulgado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas \(IPCC\)](#) da ONU. São menos de seis anos para evitar que seja ultrapassado o limite estabelecido no Acordo de

Paris em 2015. Contudo, estima-se que essa temperatura será atingida nos próximos cinco anos, segundo a [Organização Meteorológica Mundial \(OMM\)](#).

A queima de

combustíveis fósseis para consumo de energia é responsável por 80% das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), os principais gases do efeito estufa. O desmatamento de florestas tropicais como a Amazônia corresponde aos outros 20% destas emissões. Somados, tornam-se os principais causadores pelo aumento da temperatura terrestre e toda uma cadeia de efeitos ambientais, climáticos e sociais. (Figura 1)

“Estamos cada vez mais impactados. Devemos considerar que a emergência climática é um problema de ordem complexa e planetária, que evoca ações imediatas para o seu enfrentamento.

Conviveremos com essas

*“Conviveremos com essas consequências por muito tempo e o termo ‘emergência climática’ vem para dar o verdadeiro sentido de urgência, já que não estamos mais falando do futuro, e sim do agora.”*



**Figura 1. O desmatamento de florestas tropicais como a Amazônia corresponde a 20% das emissões mundiais de gases de efeito estufa.**

(Foto: Valter Campanato/ Agência Brasil. Reprodução)

consequências por muito tempo e o termo ‘emergência climática’ vem para dar o verdadeiro sentido de urgência, já que não estamos mais falando do futuro, e sim do agora”, alerta Adriana Kataoka, professora do Departamento de Ciências Biológicas e coordenadora do Comitê Gestor de Educação Ambiental da [Universidade Estadual do Centro-Oeste \(Unicentro\)](#).

Para José Eduardo Viglio, professor do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas (IFCH) e pesquisador do [Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais \(Nepam\)](#) da [Universidade Estadual de Campinas \(Unicamp\)](#), os impactos das mudanças climáticas já são sentidos no mundo todo. “As mudanças climáticas causadas, sobretudo, pelo uso de combustíveis fósseis nos últimos séculos têm efeitos globais, embora afetem localidades e regiões de modo particular”.

## Impactos nos biomas brasileiros

O Brasil é um dos países mais afetados pelo aumento do aquecimento global, já que suas dimensões continentais acabam sendo expostas inevitavelmente e atingidas de forma direta. No país, o aumento da temperatura ocasiona na perda de áreas costeiras decorrente da elevação do nível do mar, em eventos climáticos extremos, em mudanças dos padrões de chuva, nas conhecidas ondas de calor, incêndios florestais, perda da biodiversidade, chuvas ácidas, aumento da frequência de secas e conseqüentemente em crises hídricas. “Sendo

totalmente dependente de hidrelétricas (um total de 73,6% de toda energia gerada no ano passado), quando ocorrem situações de secas extremas com os reservatórios a níveis críticos, o uso das usinas termoelétricas é ativado para substituir ou complementar a demanda da população, gerando assim mais impactos com o aumento na queima de combustíveis fósseis”, analisa José Eduardo Viglio, que é um dos autores do estudo [“Narrativas científicas sobre petróleo e mudanças do clima e suas reverberações na política climática brasileira”](#). Prova disso foi a pior crise hídrica vivenciada pelo país em 2021, cujas precipitações foram as mais baixas dos últimos 91 anos.

O estado do Amazonas vive uma verdadeira crise ambiental, onde recentemente uma onda de fumaça provocada pelas queimadas cobriu a capital Manaus, deixando o ar praticamente irrespirável. Somente nos últimos três meses, foram mais de 15 mil focos de incêndio, sendo 72 queimadas registradas somente em três dias do mês de novembro, conforme dados do [Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais \(INPE\)](#).

A mudança do clima no mundo se manifesta diretamente nos biomas brasileiros, intensificando a severidade e a frequência de secas que, combinadas com o extremo calor, criam condições para queimadas mais devastadoras. Somente em 2023 foram mais de 9 milhões de hectares atingidos pelas chamas no país, segundo dados do [MapBiomass](#).

## Avanços no panorama brasileiro

Atualmente o consumo de combustíveis como gasolina, diesel, carvão, gás natural representa 82% das fontes de energia utilizadas no mundo, segundo a [Agência Internacional de Energia \(IEA\)](#). Felizmente, o Brasil tem uma situação bem diferente da média global, com 48% de sua energia produzida através de fontes renováveis. Além disso, o país lidera o ranking de matrizes energéticas mais renováveis no mundo, segundo dados do [Ministério de Minas e Energia](#).

A capacidade geográfica do Brasil também o deixa em uma posição vantajosa para a geração de energia renovável, como, por exemplo, as hidrelétricas, possuindo inclusive a maior bacia hidrográfica do mundo. No entanto, o consumo deste tipo de energia vem caindo,

principalmente, por conta das [crises hídricas](#) cada vez mais recorrentes, cujas secas e escassez têm papel crucial no ciclo hidrológico e na disponibilidade de água. (Figura 2)

Assim, outras fontes renováveis e competitivas surgem para minimizar esses efeitos. Esse é o caso da energia solar, que se tornou a segunda maior fonte de energia no Brasil – atrás apenas da hidrelétrica – apresentando um crescimento de 64% em 2022 em relação ao ano anterior, segundo levantamento da [Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica \(ABSOLAR\)](#). “O Brasil tem avançado na produção de energia renovável com uma série de políticas de incentivo voltadas tanto para residências quanto para

*“O Brasil tem avançado na produção de energia renovável com uma série de políticas de incentivo voltadas tanto para residências quanto para comércios, ajudando a alavancar o uso dessas fontes de energias.”*

comércios, ajudando a alavancar o uso dessas fontes de energias que não são as principais e aumentando também o estímulo global nesse sentido”, declara José Eduardo Viglio.

Em se tratando de energia eólica, o Brasil mantém o sexto lugar no ranking mundial, segundo dados do [Global Wind Energy Council \(GWEC\)](#), um fato bastante relevante se considerarmos que em 2012 o país ocupava o 15º lugar. E não menos importante, a biomassa representa cerca de 8,55% dentro de toda matriz energética brasileira, segundo informações do Ministério de Minas e Energia. Versátil, esta fonte de energia resulta também em biocombustíveis, biogás, alimentação animal, fertilizantes, produtos químicos e o chamado bioplástico ou plástico verde: que mesmo sendo considerado pela ONU uma solução sustentavelmente brasileira, ainda apresenta controvérsias e requer um olhar mais cauteloso em todo seu processo de origem.



**Figura 2. Hidrelétricas são fontes renováveis de energia, porém não são isentas de impactos ao meio ambiente e populações tradicionais.**

(Foto: Caio Coronel/ Itaipu. Reprodução)

---

## Desafios da transição energética no cenário atual: como avançar ainda mais?

Mesmo sendo referência no âmbito da energia renovável, o Brasil ainda tem desafios a enfrentar para uma transição energética efetiva e progressiva. “Como é o exemplo da energia hídrica que, apesar de ser considerada limpa, não está totalmente isenta de impactos. Para as mudanças climáticas este tipo de energia é positivo sim, mas em termos de efeitos diretos e regionais também há impactos, talvez em menor proporção, mas que devem ser observados”, pondera José Eduardo Viglio.

Além disso, não há uma solução de forma única para cada região do país: são necessárias dinâmicas diferentes de acordo com suas diversidades. A transição energética é um processo complexo que requer planejamento, investimento e cooperação entre governos, indústria e sociedade. “É necessária uma mudança profunda que vai além de uma mudança de comportamento, mas perpassa o modelo de desenvolvimento econômico, envolvendo mudanças políticas e culturais”, destaca Adriana Kataoka. “Precisamos, portanto, falar em mudanças de paradigmas, já que, de forma direta ou indireta, cada um contribui com a manutenção de um modelo de desenvolvimento econômico pautado no acúmulo, no

enriquecimento de uma minoria em detrimento de uma maioria que não tem acesso a esses recursos”.

Felizmente, a AIE projetou que o consumo de combustíveis fósseis terá significativa queda nos próximos dez anos e entrará em declínio permanente à medida que as políticas climáticas entrarem em vigor. Isso implica no envolvimento de tecnologia, mas ela sozinha não é a solução. “É necessária uma forma de combate no âmbito global para a implementação destas políticas públicas voltadas para questões de sustentabilidade e de enfrentamento das mudanças climáticas”, reforça Adriana Kataoka. “Tudo isso passa pela aquisição de informação e principalmente pela ampliação da consciência de que somos responsáveis pelas emissões e também pela solução dos danos ao planeta”.

*“É necessária uma mudança profunda que vai além de uma mudança de comportamento, mas perpassa o modelo de desenvolvimento econômico, envolvendo mudanças políticas e culturais.”*

**Priscylla Almeida** é jornalista e produtora de conteúdo para áreas de saúde e ciência, marketing e publicidade. Apaixonada por filmes, gatinhos e pela rotina dinâmica que a comunicação traz: o contato com gente, a curiosidade de assuntos diversos, a troca.



**Capa. Ciência é fundamental para preservar e restaurar os biomas brasileiros**

(Foto: JComp/ Freepik.com. Reprodução)

## A tecnologia a serviço dos biomas

*Quais são os principais recursos técnicos e tecnológicos que vêm sendo utilizados na restauração e conservação dos biomas brasileiros*

Paula Gomes

Quando o assunto é a degradação de biomas brasileiros, a primeira imagem que nos vem à mente é a do desmatamento na Floresta Amazônica, ou então, mais recentemente, as queimadas do Pantanal, que ocorreram em 2020. Hoje, no entanto, todos os biomas do país estão em perigo crítico de extinção. É o que

afirma a pesquisadora da [Fiocruz Mata Atlântica](#) Andrea Vanini, responsável pelo Levantamento da Flora e Restauração Ecológica: “As savanas e campos cobrem mais de 27% do nosso território e possuem altas quantidades de espécies endêmicas. O cerrado vem sofrendo altas taxas de degradação e nele vivem diversas comunidades tradicionais que dependem da conservação de sua biodiversidade. A Caatinga, que é um ecossistema exclusivamente brasileiro, é pouco mencionado quando se trata de campanhas de conservação e abriga uma população que sofre com a seca no semiárido.” (Figura 1)

Para restaurar um bioma degradado, é possível aplicar



**Figura 1. A Caatinga é um ecossistema exclusivamente brasileiro e abriga uma população que sofre com a seca no semiárido.**

(Foto: Gabriel Carvalho/ Setur-BA. Reprodução)

diversas técnicas. A partir da análise das características do bioma, do seu nível de degradação e dos recursos financeiros disponíveis, elabora-se um plano de ação. Andrea Vanini destaca que sempre a primeira medida a ser tomada é eliminar o principal vetor de degradação daquele bioma, como fogo, pastagem, pisoteio de animais ou mineração. Em seguida, aplicam-se as técnicas de restauração. Alguns métodos são de fácil implementação, outros, mobilizam maiores recursos humanos, financeiros e tecnológicos. Algumas das principais técnicas são:

**Regeneração Natural Assistida:** Quando deixamos as florestas regenerarem com pouca influência. Este processo está sendo testado em áreas muito extensas na Amazônia e na Mata Atlântica. É muito utilizado também em propriedades rurais, pois o custo de investimento é mínimo para o proprietário — que muitas vezes não tem ou não quer destinar recursos para esse fim.

**Semeadura direta:** É o plantio direto da semente no solo, geralmente por meio de “muvuca” que reúne sementes de espécies diferentes. A semeadura direta tem baixo custo, pois pula várias etapas da produção de mudas, mas precisa de uma cadeia de produção de sementes bem estabelecida, o que é ainda um gargalo para a cadeia de restauração.

**Enriquecimento:** Consiste em plantar em áreas que possuem uma floresta estabelecida, mas com baixa diversidade de espécies, isto é, quando há poucas espécies dominantes. São plantadas espécies de sucessão secundária, endêmicas, frutíferas

nativas, ameaçadas e raras.

**Implantação total:** Quando a área tem baixo potencial de regeneração, é realizado o plantio de mudas, que pode ser em linhas (para isso também há uma distribuição específica das mudas, que são classificadas em duas categorias: diversidade e recobrimento) ou em núcleos.

**Transposição de solo:** quando o solo de uma área de floresta é transplantado para uma área e o banco de sementes germina na área restaurada.

Um fator complicador para a restauração dos biomas é a heterogeneidade, que pode ser observada entre eles, mas também dentro dos próprios biomas. Ana Paula Rovedder, professora do Departamento de Ciências Florestais da [Universidade Federal de Santa Maria \(UFSM\)](#) e coordenadora da [Rede Sul de Restauração Ecológica](#), explica que mesmo os nossos biomas de menor extensão,

*“Saberes, tecnologias e modo de vida dos povos tradicionais mantêm a floresta em pé, conservando seus serviços ecossistêmicos em meio a um modo de vida sustentável.”*

como o Pampa e o Pantanal, possuem diferentes tipos de formações vegetais. Essa heterogeneidade exige que técnicas e tecnologias sejam pensadas, experimentadas e adaptadas para regiões específicas dentro dos biomas.

Em relação à conservação dos biomas, Lucas Ferrante, pesquisador da [Universidade Federal do Amazonas \(UFAM\)](#) elenca duas tecnologias que vem auxiliando nessa frente: o monitoramento via satélite e as análises genéticas. Com os dados fornecidos por satélites, é possível identificar áreas prioritárias para a conservação, processos de invasões e desmatamento e até dinâmicas climáticas que ocorrem em determinadas regiões. Já as análises genéticas auxiliam muito na conservação de espécies ameaçadas. “Em muitas pesquisas temos que combinar diferentes tipos de tecnologia.

*“Os biomas estão ameaçados pelos empreendimentos imobiliários no litoral, pela soja no centro-oeste e pela indústria madeireira e criação de gado no norte do país, é preciso enfrentar essa realidade.”*



**Figura 2. Saberes tradicionais são responsáveis pela conservação de muitos territórios brasileiros**

(Foto: OTSS/Fiocruz. Reprodução)

Em um [artigo](#) recente, publicado no periódico [Conservation Biology](#), identificamos, através de análises genéticas, as diferentes populações da espécie de sapo ameaçada de extinção *Hylodes sazimai*. Posteriormente, mediante análises com imagens do projeto [GRACE da NASA](#), identificamos a origem das chuvas e das anomalias climáticas que impactam a atividade e dinâmicas populacionais dessa espécie”, explica.

## Tecnologia ancestral

Muitas tecnologias que podem ser utilizadas na conservação de biomas já existem há muito tempo. São os casos das “tecnologias sociais”: um conjunto de técnicas resultantes da interação entre o saber popular e o científico que apresenta resultados efetivos para aquela comunidade. As práticas e saberes indígenas sobre a floresta são consideradas tecnologias sociais. (Figura 2)

Esses conhecimentos, apesar de gozarem de pouco prestígio cultural e serem constantemente desvalorizados por vários setores da sociedade, são responsáveis pela conservação de muitos territórios brasileiros. “Apontamos na [Science](#) em 2020 que mais de 24% do território Amazônico é protegido pelos territórios indígenas, e com extrema importância para preservar serviços ecossistêmicos, como os rios voadores”, explica Lucas Ferrante. Em outro [estudo](#) do pesquisador, publicado em 2021 na revista [Land Use Policy](#), foi demonstrado que terras indígenas apresentam uma maior proteção da floresta quando comparadas a unidades de conservação. “Isso devido aos

saberes, tecnologias e modo de vida dos povos tradicionais que mantêm a floresta em pé, conservando seus serviços ecossistêmicos em meio a um modo de vida sustentável”, enfatiza.

## Proteção é prioridade

Os esforços empregados na restauração e conservação de nossos biomas só trarão resultados se aliados a outra frente de trabalho: o da proteção de territórios ameaçados. “Os biomas estão ameaçados pelos empreendimentos imobiliários no litoral, pela soja no centro-oeste e pela indústria madeireira e criação de gado no norte do país, é preciso enfrentar essa realidade”, elenca Andrea Vanini.

Um dos primeiros passos para enfrentar esse problema seria restabelecer o diálogo entre a comunidade científica e o governo. Contudo, para Lucas Ferrante, esse cenário parece distante. O pesquisador demonstra preocupação com a tendência, tanto dos governos antigos quanto da atual gestão, de ignorar os alertas dos cientistas sobre ações e empreendimentos com alto potencial de degradação aos biomas: “É necessário que os tomadores de decisão revejam grandes empreendimentos que podem levar a Amazônia ao ponto de não retorno, como é o caso da rodovia BR-319, abordado em uma [publicação](#) nossa na Science de 2020. Também é necessário que o governo reveja a exploração de petróleo na foz do Amazonas, como apontado na [Nature](#) este ano. É crucial que seja instituída uma política de desmatamento zero ainda este ano para a Amazônia, e inúmeros estudos científicos respaldam essa necessária tomada de decisão”, alerta.

Já Ana Paula Rovedder acredita que houve avanços no atual governo: “Estamos sendo bastante valorizados no momento pelas políticas públicas do Ministério do Meio Ambiente. A voz desses biomas e de suas especificidades precisa ser ouvida para traçar as políticas públicas. É isso que esperamos com a retomada da PROVEG ([Política Nacional para Recuperação da Vegetação Nativa](#)) pelo Ministério. Todas as redes de proteção dos biomas foram chamadas para serem ouvidas e esperamos que continue assim”.

Andrea Vanini reforça que a complexidade do problema de proteção territorial no Brasil exige que os esforços nesse sentido sejam articulados em rede, com o suporte de várias instituições de ensino e pesquisa, organizações governamentais,

não governamentais e comunidades tradicionais e locais. “É preciso financiamento interno e externo, políticas públicas, investimento em tecnologias sociais”, conclui.

**Paula Gomes** é escritora, doutora em cinema e especialista em divulgação científica.





## **Ciência&Cultura**

VOLUME 75 – NO. 4 | OUTUBRO – NOVEMBRO – DEZEMBRO 2023

Uma publicação da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência

Rua Maria Antônia, 294, 4º andar  
CEP: 01222-010, São Paulo – SP  
Fone: (11) 3259-2766  
E-mail: [cienciaecultura@sbcnet.org.br](mailto:cienciaecultura@sbcnet.org.br)