

Lorena Oliveira de Sousa
Leandro Juen
Ana Cláudia Kasseboehmer
Ettore Paredes Antunes
(Orgs.)

Pesquisar para preservar a biodiversidade da fauna e da flora da Amazônia

ensaios de divulgação científica



**Pesquisar para preservar a biodiversidade
da fauna e da flora da Amazônia:
ensaios de divulgação científica**



Lorena Oliveira de Sousa
Leandro Juen
Ana Cláudia Kasseboehmer
Ettore Paredes Antunes
(Organizadores)

**Pesquisar para preservar a biodiversidade
da fauna e da flora da Amazônia:
ensaios de divulgação científica**



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



Copyright © Autoras e autores

Todos os direitos garantidos. Qualquer parte desta obra pode ser reproduzida, transmitida ou arquivada desde que levados em conta os direitos das autoras e dos autores.

Lorena Oliveira de Sousa; Leandro Juen; Ana Cláudia Kasseboehmer; Ettore Paredes Antunes [Orgs.]

Pesquisar para preservar a biodiversidade da fauna e da flora da Amazônia: ensaios de divulgação científica. São Carlos: Pedro & João Editores, 2025. 212p. 16 x 23 cm.

ISBN: 978-65-265-2637-8 [Digital]

DOI: 10.51795/9786526526378

1. Amazônia. 2. Sustentabilidade. 3. INCT. 4. Ciência. 5. Biodiversidade. I. Título.

CDD – 370

Capa: Marcos Della Porta

Ficha Catalográfica: Hélio Márcio Pajeú – CRB – 8-8828

Diagramação: Diany Akiko Lee

Editor: Valdemir Miotello

Diretores executivos: Pedro Amaro de Moura Brito & João Rodrigo de Moura Brito

Conselho Editorial da Pedro & João Editores:

Augusto Ponzio (Bari/Itália); João Wanderley Geraldi (Unicamp/Brasil); Hélio Márcio Pajeú (UFPE/Brasil); Maria Isabel de Moura (UFSCar/Brasil); Maria da Piedade Resende da Costa (UFSCar/Brasil); Valdemir Miotello (UFSCar/Brasil); Ana Cláudia Bortolozzi (UNESP/Bauru/Brasil); Mariangela Lima de Almeida (UFES/Brasil); José Kuiava (UNIOESTE/Brasil); Marisol Barenco de Mello (UFF/Brasil); Camila Caracelli Scherma (UFFS/Brasil); Luís Fernando Soares Zuin (USP/Brasil); Ana Patrícia da Silva (UERJ/Brasil).



Pedro & João Editores

www.pedroejoaoeditores.com.br

13568-878 – São Carlos – SP

2025

Sumário

Apresentação	7
Lorena Oliveira de Sousa (USP)	
Ana Cláudia Kasseboehmer (USP)	
Ettore Paredes Antunes (UFSCar)	
Capítulo 1. Pesquisar para Preservar	11
Yana Bárbara da Silva Teixeira (INCT)	
Ettore Paredes Antunes (UFSCar)	
Leandro Juen (UFPA)	
Filipe Machado França (Bristol/UK)	
Capítulo 2. Uso de insetos aquáticos como bioindicadores de qualidade ambiental	33
Yana Bárbara da Silva Teixeira (INCT)	
José Max Barbosa Oliveira-Junior (UFOPA)	
Karina Dias Silva (UFPA)	
Leandro Juen (UFPA)	
Capítulo 3. Macrófitas aquáticas na Amazônia: a diversidade para além das vitórias-régias	65
Aline Samara Lima de Jesus (UFAM)	
Ana Luisa Biondi Fares (UFPA)	
Thaísa Sala Michelin (UFPA)	
Capítulo 4. “Cici”, o besouro-tigre da Amazônia	95
Daniela Hoyos Benjumea (UFLA)	
Letícia Maria Vieira (UFLA)	

Capítulo 5. Formigas-Zumbis na floresta Amazônica: 113
Como o Ophiocordyceps transforma formigas em instrumentos de sua sobrevivência

Maria Eduarda Domingues Góes (UFSCar)

Yana Bárbara da Silva Teixeira (INCT)

Fabricio Beggiato Baccaro (UFAM)

Ettore Paredes Antunes (UFSCar)

Capítulo 6. A água sob nossos pés: como o lençol 137
freático molda a floresta

Lorena Oliveira de Sousa (USP)

Juliana Schietti (UFAM)

Leandro Juen (UFPA)

Capítulo 7. Lixeiros, Agricultores e Guardiões do 157
Solo: A Ciência por trás dos Besouros Rola-Bosta

Aline Samara Lima de Jesus (UFAM)

Rafaella Maciel (UnB)

Filipe Machado França (Bristol/UK)

Capítulo 8. Peixes e florestas: como o desmatamento 181
da Amazônia afeta os peixes de riachos

Yana Bárbara da Silva Teixeira (INCT)

Luciano Fogaça de Assis Montag (UFPA)

Apresentação

Lorena Oliveira de Sousa
Ana Cláudia Kasseboehmer
Ettore Paredes Antunes

Este livro é uma coletânea de textos de divulgação científica sobre algumas das pesquisas desenvolvidas em sínteses da biodiversidade amazônica. Especificamente, esses textos representam alguns dos grupos participantes de uma rede de pesquisa que reúne mais de 60 pesquisadores e pesquisadoras espalhados pelo Brasil e Inglaterra de universidades públicas e institutos de pesquisa nacionais e internacionais, a saber. Esta rede tem aprovado diversos financiamentos com destaque para as aprovações mais recentes junto ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) que possibilitaram a formação do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Sínteses da Biodiversidade Amazônica - INCT SinBiAm (Processo n. 406767/2022-0 da Chamada Nº 58/2022 - Programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia - INCT) - e do Programa de Pesquisa em Biodiversidade da Amazônia Oriental - PPBIO AmOr -, cuja aprovação se deu por meio da Chamada CNPq nº 07/2023 - Linha 1: Rede Amazônia Oriental (Processo Nº 441257/2023-2).

A estrutura do livro conta com 09 capítulos cuidadosamente redigidos por 16 autores/pesquisadores de 07 instituições de Ensino Superior e centros de pesquisa para representar a rede da qual participam: Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Universidade Federal do Pará (UFPA), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Universidade de Brasília (UnB) e Universidade de Bristol (Inglaterra).

O Capítulo 1 aborda uma visão geral sobre o que é e qual a importância da Amazônia, também apresenta os desafios para as pesquisas em Biodiversidade. Por fim, discute as propostas do INCT-SinBiam e de outros projetos da rede dos pesquisadores, tais como a criação da Taoca, um banco de dados que armazena, organiza e compartilha informações sobre mais de 6 mil espécies diferentes registradas na Amazônia.

O Capítulo 2 trata de questões relacionadas à qualidade ambiental dos corpos aquáticos na Amazônia. Discutem-se conceitos como o Índice de Qualidade das Águas (IQA) e o Índice de Integridade de Habitat (IIH), bem como a relação entre o biomonitoramento e as pesquisas que avaliam a presença de insetos aquáticos em igarapés da região norte.

O Capítulo 3 aborda as macrófitas aquáticas, grupo de plantas que habitam diversos ecossistemas, como, por exemplo, a vitória-régia, planta-símbolo da Amazônia. Discute-se, assim, a importância dessas plantas para o ecossistema amazônico, principalmente o papel delas como bioindicadores, essenciais para a preservação da Amazônia.

O Capítulo 4 traz uma discussão sobre a classificação dos seres vivos, o papel da anatomia e das coleções entomológicas nesse processo, para, em seguida, apresentar os besouros-tigre. São apresentadas algumas características da vida desses pequenos insetos da Amazônia.

O Capítulo 5 apresenta as formigas-zumbis da Amazônia. Em alta hoje pela cultura *pop*, este capítulo explica um fungo que ocorre em formigas e altera seu comportamento, realizando ações que favorecem o hospedeiro. Além de muito interessante, as relações entre os fungos e os insetos na Amazônia são temas de pesquisas sobre as relações entre os seres vivos entre outros temas.

O Capítulo 6 aborda águas subterrâneas e suas relações com a floresta. Após apresentar as principais definições e características, são discutidas a dinâmica das águas no solo no contexto amazônico e suas complexas relações com a floresta amazônica, além da

biodiversidade e das relações entre água no solo, florestas e mudanças climáticas.

O Capítulo 7 aborda os besouros “rola-bosta”, apresentando, de maneira detalhada, quem são esses seres e como vivem no ambiente amazônico, em especial do ponto de vista das pesquisas científicas. Por fim, discutem-se os diversos e importantes papéis que esses besouros desempenham no ecossistema.

O Capítulo 8 discute a relação entre as florestas e os rios, principalmente nas áreas mais próximas dos riachos. Também evidencia a importância da biodiversidade nos rios da Amazônia e como o desmatamento está influenciando negativamente a biodiversidade.

O objetivo deste livro é oferecer textos de divulgação científica sobre a rede de pesquisa SinBiAm para serem utilizados em partes ou em sua totalidade para fomentar discussões e estudos sobre a biodiversidade da Amazônia. Acreditamos que a biodiversidade brasileira precisa ser objeto de debates, pesquisa e contextualização no conteúdo da educação básica, para que todos os brasileiros e brasileiras conheçam, se apaixonem e contribuam para a luta pela preservação da natureza. Sem as florestas em pé, sem os biomas e sem a biodiversidade não há futuro possível. No entanto, essa defesa não pode se restringir ao campo do discurso, mas precisa fazer parte do cotidiano e dos interesses de cada brasileiro e brasileira. Sabemos que a educação escolar é um rico espaço de formação e de conscientização, mas não é o único. Por isso, esperamos que este livro inspire outras ações também em espaços não formais, para que a população brasileira conheça e reconheça a robustez das pesquisas desenvolvidas nas universidades públicas brasileiras e sua importância para a sociedade e o meio ambiente.

Convidamos você, leitora e leitor, a acompanharem nossas ações pelo site: <https://inct-sinbiam.org/> e pelo Instagram: <https://www.instagram.com/sinbiam/>.

Diante das diversas temáticas de pesquisas sobre a Amazônia e contando com a experiência de grandes cientistas da Ecologia e Biodiversidade da Amazônia que se dedicaram aos capítulos, desejamos uma ótima leitura.

Viva a biodiversidade da Amazônia! Juntos pela preservação dos biomas brasileiros!

Pesquisar para preservar

Yana Bárbara da Silva Teixeira (INCT)¹

Ettore Paredes Antunes (UFSCar)²

Leandro Juen (UFPA)³

Filipe Machado França (Bristol/UK)⁴

A **Amazônia** ocupa quase a metade do território brasileiro (aproximadamente 49,5%), abrangendo os estados do Acre (AC), Amapá (AP), Amazonas (AM), Pará (PA), Rondônia (RO), Roraima (RR), Tocantins (TO), na região Norte; parte do Mato Grosso (MT), no Centro-Oeste; bem como, parte do Maranhão (MA), no Nordeste.

¹ Sínteses da Biodiversidade Amazônica (SinBiAm), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT).

² Professor Adjunto na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar); Laboratório de Ensino e Aprendizagem de Química (LENAQ).

³ Professor do Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Universidade Federal do Pará (UFPA); Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO).

⁴ Professor da Universidade de Bristol, Inglaterra e professor voluntário da UFPA.



Figura 1: Biomas brasileiros.

Fonte: IBGE.

É o **maior bioma do Brasil** (Figura 1), com mais de 4 milhões de km². Sua área também se estende por outros países da América do Sul: Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Venezuela e Suriname. A região abriga a maior floresta tropical contínua do nosso planeta, que é a Floresta Amazônica, e a maior bacia hidrográfica do mundo, a Bacia Amazônica, responsável por aproximadamente 20% da água doce disponível no mundo.



Figura 2: Estação Ecológica de Jutai-Solimões - Amazonas (AM).
Fonte: ICMBIO.

Em seus diversos ecossistemas, a Amazônia é um verdadeiro tesouro da **biodiversidade**. Estima-se que ela abriga 10% de todas as espécies conhecidas pela ciência, incluindo aproximadamente 50 mil espécies de plantas e mais de 5 mil de animais. Muitas dessas espécies são chamadas de **endêmicas**, ou seja, só existem aqui na Amazônia, não ocorrem em nenhum outro lugar do planeta! Um exemplo marcante são os peixes amazônicos, aproximadamente 60% das 3 mil espécies conhecidas são endêmicas. Também vivem por lá animais únicos como o peixe-boi da Amazônia (Figura 3), um mamífero aquático típico e endêmico da região.



Figura 3: Peixe-boi da Amazônia.

Fonte: Bosque da Ciência/INPA.

Espécies **endêmicas** são nativas de uma região específica ou restrita e não ocorrem naturalmente em outros lugares.

Apesar de toda essa riqueza, a biodiversidade amazônica enfrenta várias ameaças. O **desmatamento** (remoção total da cobertura vegetal) e a **degradação florestal** (atividades humanas que prejudicam a saúde da floresta, como o fogo e a exploração madeireira ilegal) têm causado grandes impactos na região. Entre os anos de 2012 e 2018, quase 110 mil km² de floresta foram derrubados. Nesse período, a Amazônia foi o bioma que mais perdeu cobertura vegetal no Brasil (Figura 4 e Figura 5). Em 2019, o desmatamento cresceu de forma preocupante, com a perda de mais de 10 mil km² de floresta, o maior valor até então registrado desde 2008. Atualmente, reconhece-se que mais de 17% da vegetação nativa da Amazônia já foi destruída, dando lugar a pastagens e lavouras.

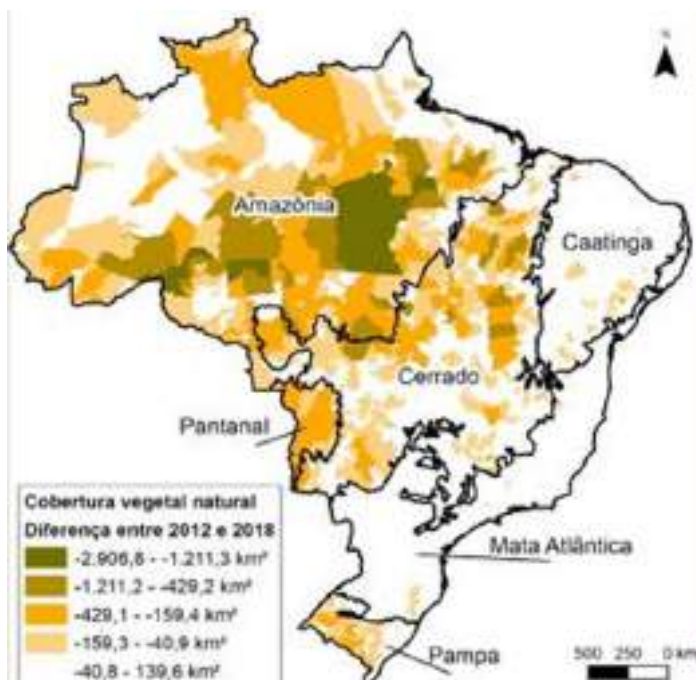


Figura 4: Alterações da área de cobertura vegetal natural, entre 2012 e 2018.
 Fonte: Coelho; Córrea, 2022.



Figura 5: Desmatamento em propriedade particular em um trecho da Floresta Nacional do Tapajós (Pará - PA, estado que apresenta maior índice de desmatamento entre 2012 e 2019).
 Fonte: Nexso (Marizilda Cruppe/Rede Amazônia Sustentável/2019).

A retirada da floresta ocorre principalmente com a finalidade de destinar a terra a atividades de agropecuária, mineração, silvicultura, entre outras; consequentemente, diversos aspectos dos ecossistemas que compõem o bioma são afetados

pelos **impactos antrópicos**. Esse avanço das atividades humanas afeta diretamente os ecossistemas da região. A derrubada das florestas provoca a perda de espécies de plantas, modifica a qualidade da água, expõe o solo à erosão e à contaminação, e ameaça a sobrevivência de muitos animais. Além disso, reduz a disponibilidade de recursos naturais importantes para a alimentação, a saúde e a economia, como, por exemplo, remédios, alimentos e materiais usados na indústria.

Recuperar uma floresta não é simples. A **restauração passiva**, quando a natureza se regenera sozinha, leva muitos anos e nem sempre consegue trazer de volta todas as espécies que existiam anteriormente na área. Estudos mostram que, mesmo após 20 anos, apenas cerca de 80% das espécies de árvores retornam. Isso acontece porque plantas com sementes menores e de crescimento rápido voltam com mais facilidade, enquanto espécies mais sensíveis, que precisam de condições específicas, muitas vezes desaparecem. Quando a degradação é muito intensa, é necessário investir na chamada restauração ativa, que envolve o plantio de espécies nativas por iniciativa humana.

A **restauração passiva** é uma regeneração que ocorre de forma natural, em que a floresta se recupera sozinha passando por etapas de sucessão ecológica. Quando a área de terra é muito degradada, é necessário atuar também com a restauração ativa, em que há a intervenção humana para realizar plantio de espécies nativas.

Mesmo que os dados mais recentes do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) indiquem uma queda no desmatamento nos anos de 2023 e 2024, os impactos acumulados ao longo do tempo ainda comprometem a saúde da floresta. Por isso, é fundamental manter ações de monitoramentos e fiscalizações (Figura 6), criar e implementar projetos e políticas públicas, Planos

de Ação Nacionais (PAN) para proteger e conservar as espécies ameaçadas de extinção, tanto da fauna quanto da flora brasileira.



Figura 6: Fiscalização Federal da extração de madeira, realizada pelo IBAMA.
Fonte: Revista Pesquisa Fapesp (Vinícius Mendonça / Ibama) -
<https://revistapesquisa.fapesp.br/outro-plano-contra-o-desmatamento-na-amazonia/>.

Para proteger a Amazônia e toda a sua **megadiversidade** é extremamente necessário investir em pesquisa científica. Estudar a natureza ajuda a preencher e diminuir as lacunas de conhecimento, entender como os ecossistemas funcionam e como são afetados pelo aumento das atividades humanas são fundamentais para orientar políticas públicas mais eficientes, que definam prioridades, metas de conservação, e ações para monitorar, proteger e recuperar áreas degradadas.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2022, 42,7% das 50.313 espécies registradas para a flora e 9% das 125.251 espécies da fauna estavam em **grupos ameaçados de**

extinção. Os dados consideram três níveis de ameaça: “criticamente em perigo”, “em perigo” e “vulnerável”.

O bioma com maior número de espécies ameaçadas é a Mata Atlântica, onde existem casos de extinção na natureza, como a da arara-azul-pequena. Isso se deve, principalmente, à destruição intensa de habitat ao longo dos anos. Já na Amazônia, foram identificadas 503 espécies ameaçadas, como o macaco-cara-branca (Figura 7), endêmico da região e criticamente em perigo, tendo desaparecido de várias áreas devido à degradação ambiental e à caça.



Figura 7: Macaco-cara-branca é uma espécie endêmica da Amazônia registrada como criticamente em perigo, que já sofreu extinções locais devido à degradação ambiental e a caça.

Fonte: Tatiane Cardoso/ICMBIO.

É importante lembrar que esses números podem ser ainda maiores. Existem muitas áreas da Amazônia que nunca foram estudadas, e, por isso, é possível que várias espécies estejam ameaçadas, ou até já tenham desaparecido, sem que tenhamos tido a chance de conhecê-las.

Por isso, precisamos continuar lutando pela conservação do meio ambiente e por mais recursos para pesquisas científicas. Só com mais conhecimento podemos proteger melhor a fauna e a flora dos nossos biomas e garantir que as próximas gerações também conheçam e usufruam das riquezas naturais do nosso país.

Incentivos e empecilhos para as pesquisas sobre biodiversidade da Amazônia

A Amazônia é o maior bioma do Brasil e abrange uma vastidão de áreas ainda pouco conhecidas. Muitas dessas regiões estão dentro de terras indígenas, reservas ou áreas protegidas, que são de difícil acesso, muitas vezes distantes de centros urbanos, de universidades e de centros de pesquisa. Estima-se que aproximadamente 40% da Amazônia **nunca foi pesquisada** de forma detalhada

Realizar uma pesquisa nessas regiões exige uma logística complexa: é preciso planejar o transporte, garantir alimentação, contratar pessoas qualificadas, levar equipamentos adequados e escolher o momento ideal para coletar dados. Isso tudo demanda investimentos financeiros e planejamento cuidadoso. Por exemplo, a estação seca pode ser ideal para estudar algumas espécies ou ambientes, mas não para outros.

Ainda, pode-se considerar que mesmo em localidades com universidades e institutos é possível ter pouco incentivo às pesquisas sobre a biodiversidade amazônica ou que exista ênfase apenas em alguns grupos de seres vivos (por exemplo, priorizar pesquisas sobre organismos vertebrados (mamíferos, aves, peixes), enquanto outros grupos igualmente importantes, como os organismos invertebrados, recebem menos atenção. Outro ponto importante é que o desmatamento e outras ameaças continuam avançando, inclusive em áreas ainda pouco conhecidas ou não – inclusive em terras indígenas e reservas de uso sustentável. Isso

significa que ecossistemas inteiros podem ser destruídos antes mesmo que possamos estudá-los e entender como funcionam, perdendo todo o potencial que podem oferecer.

Um estudo de Carvalho e colaboradores (2023), mostra que muitas vezes as regiões mais negligenciadas pela ciência são justamente aquelas que correm mais perigo ou ameaças por atividades exploratórias e degradantes dos seres humanos, como a expansão agrícola e a exploração de recursos naturais. Também foi observado que grande parte das pesquisas existentes acontece em áreas já desmatadas, por serem mais acessíveis.

Frente a todos esses aspectos, torna-se ainda mais urgente **investir em pesquisas científicas na Amazônia**. Só assim poderemos conhecer melhor seus ecossistemas, entender como eles funcionam, identificar suas ameaças e descobrir novas espécies antes que seja tarde demais.

Em 2024, os pesquisadores Riuler Corrêa Acosta e Diego Mendes do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (IDSMA), associado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), compartilharam a descoberta de duas novas espécies de insetos na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã (Maraã-AM): um grilo (Figura 9) e uma esperança predadora (Figura 10).



Figura 9: *Oecanthus buxixu*, segunda espécie do gênero *Oecanthus* descoberta no Amazonas.

Fonte: Instituto Mamirauá.



Figura 10: *Spinaraptor taja*, pertencente a um novo gênero, *Spinaraptor*, que conta com mais quatro espécies.

Fonte: Instituto Mamirauá.

Além da caracterização de ambas as espécies, os pesquisadores obtiveram informações sobre o habitat em que elas se encontravam – o grilo nas bordas de floresta e a esperança predadora em margens de igarapé. Isso contribui para que seja

possível promover medidas de proteção desses locais a fim de preservar essas espécies e sua função no ecossistema.

Promover **expedições** em áreas ainda desconhecidas exige muito preparo e investimento em função dos recursos necessários para que a equipe permaneça o período necessário para realizar as pesquisas de forma adequada, mas pode ser benéfica para ampliar o conhecimento destas localidades.

Em 2022, por exemplo, a expedição de 12 dias de pesquisadores do Instituto de Biociências (IB) da USP, do Centro de Pesquisas sobre Biodiversidade e Ambiente (CRBE) da França e da Universidade Autônoma de Madri, na Espanha, rendeu como resultado a descoberta e caracterização de uma nova espécie de sapo, *Neblinaphryne imeri* (Figura 11), na Serra do Imeri, em uma cadeia de montanhas ao norte da Amazônia.



Figura 11: *Neblinaphryne imeri*, espécie descoberta no Pico do Imeri e parente de outra espécie de sapo da Amazônia, *Neblinaphryne mayeri*, descoberta pelos mesmos pesquisadores no Pico da Neblina.

Fonte: Leandro Moraes (Herto Escobar - Jornal USP).

Expedições podem ser promovidas como uma parceria entre centros de pesquisa e povos indígenas a fim de **valorizar os saberes tradicionais** e sua cooperação para a compreensão da biodiversidade que está presente em terras indígenas e pode não ser conhecida pela comunidade científica. Tais colaborações podem favorecer princípios de uma gestão sustentável dos recursos naturais a fim de impedir as explorações que promovem a degradação ambiental, causando modificações da paisagem natural brasileira e a perda de tesouros biológicos

Outra alternativa para ampliar as pesquisas sobre a biodiversidade da Amazônia é o **investimento** nas instituições e estruturas já existentes que estejam mais próximas a essas localidades negligenciadas a fim de movimentar os projetos de compreensão dos ecossistemas das áreas. Embora isso demande mais recursos e planejamento, pode trazer resultados significativos a longo prazo, além de formar **novas gerações de pesquisadores**. A pesquisa científica realizada por quem vive e trabalha na Amazônia é muito mais eficaz. Isso porque esses cientistas conhecem de perto os desafios e as riquezas da região, o que permite formular perguntas e desenvolver soluções mais conectadas à realidade local. Esse conhecimento, construído no dia a dia com as pessoas e o ambiente, ajuda a tornar os estudos mais úteis à vida na Amazônia.

Além disso, a proximidade com as comunidades, sejam elas ribeirinhas, indígenas ou urbanas, facilita a participação ativa das pessoas na produção de conhecimento. Quando os projetos nascem a partir das necessidades e saberes locais, eles fortalecem as comunidades, ajudam a proteger a biodiversidade e mostram que é possível unir ciência, justiça social e ação climática. Essa forma de fazer ciência é muito diferente dos modelos externos, que muitas vezes apenas recolhem dados na Amazônia sem trazerem benefícios reais para quem mora lá. Pior ainda, esses modelos costumam tratar os pesquisadores locais como auxiliares, e não como líderes do conhecimento. **Valorizar a ciência amazônica** é

essencial para garantir soluções mais justas, eficazes e duradouras para toda a região.

De modo geral, todas essas ações contribuem para ampliar o conhecimento sobre o bioma amazônico e fortalecem as estratégias de conservação da biodiversidade.

Um pouco sobre a síntese de conhecimento sobre a Amazônia

Com o aumento das ameaças à natureza, cresce também a necessidade de entender melhor como funcionam os ecossistemas, quais espécies neles vivem e de que forma prestam serviços importantes para a vida humana. Esses benefícios, chamados de **serviços ecossistêmicos**, incluem, por exemplo, a polinização, a produção de alimentos, a regulação do clima, a purificação da água e do ar e até o lazer e o turismo. Pensando nisso, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) criou o Centro de Síntese em Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (SinBiose). O objetivo é reunir dados e conhecimentos já existentes para ajudar na criação de políticas públicas mais sustentáveis e eficazes.

Serviços ecossistêmicos referem-se aos benefícios, como bens e serviços, importantes para os seres humanos obtidos a partir de ecossistemas, como a provisão de alimentos, a regulação do meio ambiente e o uso de certas localidades para turismo, entre outros.

O **SinBiose** busca tais informações com a finalidade de contribuir para tomadas de decisões sustentáveis por meio de políticas públicas. Por meio de seus dados, é possível mapear áreas em que é crucial a intervenção de programas e projetos de conservação e monitoramento e que podem ainda não estar sendo atendidas. Para obter esses dados, é estabelecida uma grande rede de pesquisa interdisciplinar e aberta à colaboração, de modo a maximizar a quantidade de informações.

Uma das iniciativas que surgiram nesse contexto foi o projeto **Synergize** (SYNthesising Ecological Responses to deGrAdation In amaZonian Environments) (Figura 12), coordenado pela Embrapa. Esse projeto reúne informações sobre a biodiversidade da Amazônia brasileira, com o apoio de mais de 150 grupos de pesquisa.



Figura 12: Home page do site do projeto Synergize.
Fonte: <https://synergizeamazonia.wixsite.com/synergize>.

Como resultado desse esforço coletivo, foi criada a plataforma **Taoca** (desenvolvida pelo Synergize em parceria com a empresa Quipo Tech) um banco de dados que armazena, organiza e compartilha informações sobre mais de 6 mil espécies diferentes registradas na Amazônia. (Figura 13). Essa base de dados permite identificar onde os estudos estão concentrados e onde ainda há grandes lacunas de conhecimento (Figura 14).

Em 2023, foi criado o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Síntese da Biodiversidade Amazônica, o **INCT SinBiAm**, com sede na Universidade Federal do Pará (UFPA), tendo como missão produzir conhecimento que aproxime a ciência da sociedade, e é uma iniciativa apoiada pelo CNPq e pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).

Assim como o SinBiose, o SinBiAm tem como foco principal a síntese, a reunião e a organização de informações já produzidas para gerar novos entendimentos e apoiar a criação de políticas públicas voltadas à conservação da Amazônia. Mas o SinBiAm também vai além: trabalha para aproximar a ciência das pessoas, promovendo educação, divulgação científica e inclusão de diferentes vozes nos debates sobre o futuro da floresta.

O INCT SinBiAm conta com a colaboração de 32 instituições, organizadas em sete grupos de trabalho que estudam a biodiversidade amazônica. Uma das grandes qualidades dessa rede é a diversidade de perfis envolvidos, incluindo pesquisadores que vivem e trabalham no interior da Amazônia. Essa aproximação entre a ciência, as comunidades locais e os centros de pesquisa amplia as possibilidades de gerar conhecimento relevante e inclusivo.

Em suma, se reconhecem iniciativas significativas em relação às pesquisas que envolvem a biodiversidade da Amazônia brasileira (Figura 15), gerando expectativas sobre a extensão de informações que será possível obter por meio desses projetos colaborativos sobre espécies, ecossistemas (com suas estruturas, serviços e também integridade), e o impacto degradante dos efeitos antrópicos. E mais, expectativa sobre o que os dados obtidos podem representar para o quadro de políticas públicas do Brasil no que tange a conservação dos biomas, ao desenvolvimento sustentável e aos investimentos em Ciência e Tecnologia.

Dessa forma, espera-se que tais iniciativas sejam apenas um início e que cada vez mais o Brasil caminhe para um futuro mais verde com a conservação do tesouro biológico que está abrigado na

Amazônia, onde encontram-se a maior floresta tropical do mundo e a maior bacia hidrográfica do mundo.



Figura 15: Floresta Nacional de Jacundá (Porto Velho - RO).

Fonte: ICMBIO.

Referências

BELANDI, C. IBGE atualiza estatísticas das espécies ameaçadas de extinção nos biomas brasileiros. **Agência IBGE Notícias**. 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/36972-ibge-atualiza-estatisticas-das-especies-ameacadas-de-extincao-nos-biomas-brasileiros>. Acesso em: 05 fev. 2025.

CARVALHO, R.; *et al.* O que sabemos sobre a biodiversidade da Amazônia? Veja o que o Projeto Synergize tem a dizer. **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, 2021.

Disponível em: <https://www.gov.br/cnpq/pt-br/sinbiose-old/o-que-sabemos-sobre-a-biodiversidade-da-amazonia-veja-o-que-o-projeto-synergize-tem-a-dizer>. Acesso em: 07 fev. 2025.

CARVALHO, R.; *et al.* Pervasive gaps in Amazonian ecological research. **Current Biology**, v. 33, n. 16, 3495-3504.e4, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.06.077>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982223008631>. Acesso em: 06 fev. 2025.

COELHO, H. A.; CORRÊA, A. A. (Coord.). Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de qualidade do meio ambiente**. [recurso eletrônico]: RQMA. Brasília, DF: IBAMA, 2022.

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Cientistas e tomadores de decisão discutem lacunas e oportunidades para avançar com a ciência de síntese na Amazônia. **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/cnpq/pt-br/assuntos/noticias/cnpq-em-acao/cientistas-e-tomadores-de-decisao-discutem-lacunas-e-oportunidades-para-avancar-com-a-ciencia-de-sintese-na-amazonia>. Acesso em: 07 fev. 2025.

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Síntese da Biodiversidade Amazônica realiza oficina de integração ciência-sociedade. **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cnpq/pt-br/assuntos/noticias/destaque-em-cti/instituto-nacional-de-ciencia-e-tecnologia-de-sintese-da-biodiversidade-amazonica-realiza-oficina-de-integracao-ciencia-sociedade>. Acesso em: 07 fev. 2025.

DRUMMOND, P.; GOMES, E. Novo Instituto de Ciência e Tecnologia tem a missão de produzir sínteses sobre a

biodiversidade amazônica para políticas públicas. **Universidade Federal do Pará**, 2023. Disponível em: <https://www.portal.ufpa.br/index.php/ultimas-noticias2/14834-novo-instituto-de-ciencia-e-tecnologia-tem-a-missao-de-produzir-sinteses-sobre-a-biodiversidade-amazonica-para-politicas-publicas>. Acesso em: 07 fev. 2025.

ESCOBAR, H. No alto da Amazônia, surge uma nova espécie de sapo. **Jornal da USP**. 2024. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/no-alto-da-amazonia-surge-uma-nova-especie-de-sapo/>. Acesso em: 06 fev. 2025.

FRANÇA, F.; LEAL, C. G.; BERENGUER, E. As ameaças à biodiversidade amazônica explicadas em 6 pontos. **NEXO**. 2021. Disponível em: <https://pp.nexojornal.com.br/perguntas-que-a-ciencia-ja-respondeu/2021/12/01/as-ameacas-a-biodiversidade-amazonica-explicadas-em-6-pontos>. Acesso em: 05 fev. 2025.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Biomas Brasileiros. **IBGE Educa**. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jov%20ens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biomas-brasileiros.html>. Acesso em: 03 fev. 2025.

LIMA, A. L. Projeto apresenta base de dados sobre a biodiversidade da Amazônia. **Embrapa**, Biodiversity Environmental and land management, 2022. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/web/portal/amazonia-oriental/busca-de-noticias/-/noticia/75811317/projeto-apresenta-base-de-dados-sobre-a-biodiversidade-da-amazonia?p_auth=tHr7vCV0. Acesso em: 07 fev. 2025.

MONTEIRO, M. Pesquisadores do Instituto Mamirauá descobrem duas novas espécies de inseto na Amazônia. **Instituto Mamirauá**. 2024. Disponível em: <https://mamiraua.org.br/noticias/novas-especies>. Acesso em: 06 fev. 2025.

PIVETTA, M. Desmatamento na Amazônia cresceu 34% em 2019. **Pesquisa Fapesp**. 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/desmatamento-na-amazonia-cresceu-34-em-2019/>. Acesso em: 05 fev. 2025

PIVETTA, M.; FIORAVANTI, C. Ima Vieira: Restaurar a floresta com justiça. **Pesquisa Fapesp**. 2023. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/ima-vieira-restaurar-a-floresta-com-justica/>. Acesso em: 05 fev. 2025.

SILVA, G. P.; JUEN, L.; TUPIASSU, L. Participação de cientistas e povos da floresta é oportunidade única de protagonismo do conhecimento amazônico na COP 30. In: **The Conversation**, 2025. Disponível em: <https://theconversation.com/participacao-de-cientistas-e-povos-da-floresta-e-oportunidade-unica-de-protagonismo-do-conhecimento-amazonico-na-cop-30-249677>. Acesso em: 09 abr. 2025.

SOUZA, J. UFPA sedia Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) para pesquisas sobre biodiversidades. **Universidade Federal do Pará**, 2022. Disponível em: <https://portal.ufpa.br/index.php/ultimas-noticias2/14132-ufpa-sedia-instituto-nacional-de-ciencia-e-tecnologia-inct-para-pesquisas-sobre-biodiversidades>. Acesso em: 07 fev. 2025.

UMBELINO, B.; GRELLE, C. E. V.; VIEIRA, M. V.; FERREIRA, M. S. Só a restauração ecológica será o suficiente para a persistência dos ecossistemas? **O Eco**. 2024. Disponível em: <https://oeco.org.br/analises/so-a-restauracao-ecologica-sera-o-suficiente-para-a-persistencia-dos-ecossistemas/>. Acesso em: 05 fev. 2025

Uso de insetos aquáticos como bioindicadores de qualidade ambiental

Yana Bárbara da Silva Teixeira (INCT)¹

José Max Barbosa Oliveira-Junior (UFOPA)²

Karina Dias Silva (UFPA)³

Leandro Juen (UFPA)⁴

O Brasil abriga a maior bacia hidrográfica do mundo, que é a Bacia Amazônica, e a maior floresta tropical, a Floresta Amazônica. Essa região é considerada uma das mais **biodiversas** do planeta, abrigando um grande número de espécies de plantas e animais.

Todavia, essa biodiversidade está ameaçada pelo **desmatamento** (Figura 1), que ocorre quando áreas florestais são destruídas para dar lugar a outro tipo de uso da terra com finalidade antrópica, como pastagem para o gado, agricultura, mineração e exploração de madeira. Segundo o Instituto Brasileiro

¹ Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) em Sínteses da Biodiversidade Amazônica (SinBiAm).

² Professor Associado I no Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas (ICTA), Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA); Laboratório de Estudos de Impactos Ambientais (LEIA).

³ Professora Adjunta III de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará (UFPA); Laboratório de Ecologia de Insetos aquáticos do Xingu (LEIA-X).

⁴ Professor do Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Universidade Federal do Pará (UFPA); Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO).

do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), essas atividades são as principais responsáveis pela perda de florestas no Brasil.



Figura 1: Desmatamento na região de Castelo dos Sonhos, em Altamira (PA).
Fonte: Felipe Werneck, Ibama, 2016.

O **IBAMA** é o órgão responsável pela gestão ambiental no Brasil, atuando na fiscalização e monitoramento do licenciamento ambiental, da qualidade ambiental e do uso dos recursos naturais por meio do estabelecimento de normas e execução de programas.

A degradação dos ecossistemas pode provocar mudanças que levam à extinção de espécies e à perda de recursos hídricos, como ocorre em muitos rios, igarapés e lagos devido à poluição. Por isso, a preservação do meio ambiente é um interesse comum a todos, pois garante a qualidade e a sustentabilidade dos recursos naturais que usamos no dia a dia. Para alcançar esse objetivo, é fundamental monitorar de perto as condições ambientais de diferentes regiões do Brasil. Esse monitoramento ajuda a identificar

problemas e a implementar ações de proteção ambiental onde necessário.

O que é a qualidade ambiental?

A **qualidade ambiental** é a condição de um ambiente, considerando fatores como a qualidade do ar, da água, do solo e da biodiversidade, e de todo o ecossistema, que mantêm suas propriedades e fornecem serviços essenciais para a persistência humana. Para avaliar essa qualidade, são observados vários parâmetros específicos para cada um desses elementos. Esse tipo de análise é fundamental para entender como certas atividades humanas que alteram as características naturais de um lugar, podem afetar tanto o meio ambiente quanto a saúde das pessoas e o futuro das próximas gerações.

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), os parâmetros utilizados para definir ou analisar a qualidade da água levam em conta sua adequação para o uso e consumo humanos. Um dos índices usados para essa análise é o **Índice de Qualidade das Águas (IQA)**, criado nos Estados Unidos na década de 1970. O IQA avalia a qualidade da água com base em fatores, como a quantidade de oxigênio dissolvido, o potencial hidrogeniônico (pH), a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), e os níveis de fósforo total, de nitrogênio total, de coliformes termotolerantes e de resíduos totais.

Cada parâmetro do IQA se refere a uma informação sobre a água de um local.

- O **oxigênio dissolvido** é a quantidade de oxigênio (O_2) presente na água.
- O **pH** é um indicador da acidez ou da basicidade da água. Essa medida varia a depender das características do curso de água, por exemplo, os rios da Amazônia podem

apresentar valores baixos de pH (acidez) em condições naturais.

- A quantidade de oxigênio necessária para a respiração da vida aquática é determinada pela demanda bioquímica de oxigênio (DBO).
- As bactérias **coliformes termotolerantes** indicam contaminação do recurso por matéria fecal proveniente de esgotos domésticos. Sua presença elevada indica a possível presença de microrganismos transmissores de doenças.
- Valores elevados de **nitrogênio total** e **fósforo total** podem indicar que o curso de água está perdendo a capacidade de manter a vida aquática devido à poluição.
- A **turbidez** está associada à forma como a luz é distribuída e absorvida após atravessar a água.
- Os **resíduos totais** determinam a quantidade de matéria que se acumula no curso do rio e podem aumentar a turbidez da água e impedir a navegação.
- A **temperatura** da água é um parâmetro monitorado a fim de identificar a poluição por resíduos na forma de líquidos ou gases (chamados efluentes), com alta temperatura, capazes de alterar as características naturais do curso d'água.

Para entender como os parâmetros de qualidade da água são avaliados, podemos usar como exemplo a concentração de oxigênio dissolvido (Figura 2), necessária à respiração dos organismos aquáticos. Em águas de boa qualidade, o nível de oxigênio dissolvido geralmente é superior a 5 mg/L. No entanto, quando há poluição, como o despejo de esgoto ou de outras fontes de contaminação, esse valor tende a ser menor. No entanto, é preciso considerar que alguns fatores naturais também podem causar flutuações nesses valores, como, por exemplo, a movimentação da água, que pode influenciar a quantidade de

oxigênio dissolvido. Em rios de águas calmas, o nível de OD pode ser naturalmente mais baixo, mesmo na ausência de poluição. Portanto, para uma análise correta de uma região é fundamental analisar o contexto específico de cada corpo d'água ao interpretar esses dados. Para que isso seja alcançado, é fundamental a realização de pesquisas e de monitoramentos na região.



Figura 2: Uso do oxímetro para medir a concentração de oxigênio dissolvido na água, parte do procedimento padrão de análise de qualidade da água.

Fonte: Acervo do Laboratório de Ecologia e Conservação LABECO/UFGA.

A resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece diferentes parâmetros e valores aceitáveis para a qualidade da água, considerando as características específicas de cada corpo d'água e as atividades praticadas no local, como a pesca. Por exemplo, ao observarmos os rios Negro e Solimões (Figura 3), que fazem parte da Bacia Amazônica, percebemos facilmente suas diferenças. O rio Solimões tem águas “brancas” (Figura 3a) devido aos **sedimentos** em suspensão, o que

aumenta sua turbidez. Já o rio Negro possui águas “pretas” (Figura 3b) e pH mais ácido devido à presença de grandes quantidades de ácidos húmicos e fúlvicos, provenientes da decomposição das folhas das árvores que cobrem suas margens. Portanto, as análises de monitoramento para esses parâmetros reconhecem e consideram todas essas particularidades, possibilitando definir com precisão a qualidade e a potabilidade da água, que precisam ser adaptadas para cada região.

Materiais sólidos gerados pela erosão ou desgaste do solo, em razão da ação de chuvas, ventos e outros, são considerados tipos de **sedimentos**.

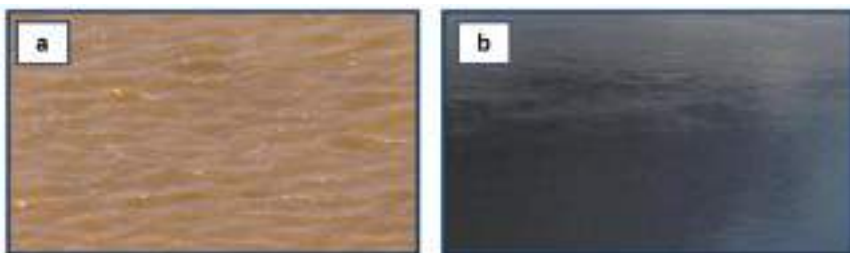


Figura 3: Águas claras (à esquerda) e águas pretas (à direita).

Fonte: Organização do Tratado de Cooperação Amazônica (OTCA) *et al*, 2023.

O **CONAMA** é o órgão que tem a finalidade de definir orientações e normas referentes à proteção do meio ambiente e ao uso sustentável dos recursos naturais, inclusive, define padrões de qualidade do ar. Já a **ANA** tem a responsabilidade de gerir diretamente os recursos hídricos, estabelecendo normas, implementando ações de conservação, monitorando áreas, regulando o acesso à água e outros.

A análise do habitat físico, relacionado à estrutura do ambiente, pode ser realizada por meio de indicadores que consideram diferentes parâmetros. Um exemplo é o **Índice de**

Integridade de Habitat (IIH), que avalia a estrutura dos igarapés considerando o uso da terra na margem ripária (nas proximidades do igarapé); a largura e a conservação da **vegetação ripária**; presença e tipo de mecanismos de retenção de sedimentos; a presença e tipo de sedimentos no canal; a condição dos barrancos das margens do igarapé; a presença e o tipo de **substrato** no leito; a disposição das áreas de corredeiras, poções e meandros; a presença de vegetação aquática e de detritos.

Vegetação ripária é a que ocorre nas margens de rios, lagos, córregos e represas.

O **substrato** são galhos, sedimentos e outros materiais presentes no fundo do corpo d'água.

O estudo do IIH gera um valor que varia de 0 a 1, sendo que, quanto mais próximo de 1 indica a maior integridade do igarapé. Igarapés com maior integridade geralmente mantêm sua vegetação ripária bem preservada, pois ela fornece substrato e proteção ao corpo d'água (Figura 4). O substrato é essencial para a vida de animais aquáticos, servindo como local de reprodução, refúgio e fonte de alimentos.



Figura 4: Igarapé com vegetação ripária preservada e presença de substratos no leito.

Fonte: Acervo do Laboratório de Ecologia e Conservação LABECO/UFGA.

Portanto, para que possamos ter uma avaliação eficiente da qualidade da água e do igarapé, é fundamental avaliar um conjunto de parâmetros e o ambiente como um todo, a fim de compreender a qualidade de um local. Isso ocorre porque todos esses fatores estão relacionados. Por isso, atividades na bacia de drenagem que resultam em mudanças no uso da terra podem afetar a qualidade da água de rios, igarapés e lagos próximos. Afetando tanto a biodiversidade quanto as populações que vivem e dependem das águas que correm nos igarapés amazônicos.

O que pode alterar a qualidade do ambiente?

As atividades antrópicas são as principais responsáveis pelas mudanças que reduzem a qualidade ambiental, pois interferem no equilíbrio natural e alteram a composição e a qualidade do ar, da água, do solo, além de impactar a biodiversidade.

O desmatamento é uma das principais ações humanas que contribuem para a degradação ambiental. Ele é realizado para liberar terras para serem utilizadas pelo homem ou para acessar alguns recursos, entre os principais podemos destacar a extração de madeira, agropecuária, mineração ou construções civis. Essas mudanças no uso da terra causam uma série de impactos ambientais, como a contaminação do ar, do solo e da água, e a perda da biodiversidade; resultando, portanto, na degradação do ambiente.

A agricultura também afeta a qualidade do ambiente, poluindo a água e solo com agrotóxicos e fertilizantes. Isso aumenta a quantidade de nutrientes na água, algo que pode ser detectado pelos níveis de nitrogênio e fósforo totais nos parâmetros de qualidade da água.

Na agropecuária, o pisoteio do gado, o tráfego de máquinas agrícolas, o manejo inadequado do solo, o represamento ou a entrada do gado nos corpos de água são alguns dos fatores que podem ocasionar a diminuição da qualidade do solo e da água, degradando suas características naturais (Figura 5). Além disso, a emissão de gases de efeito estufa pelo gado impacta a qualidade do ar.



Figura 5: Desmatamento para criar área de pastagem para gado.

Fonte: Erlane José Cunha.

As atividades de **mineração** (Figura 6) podem causar vários problemas ambientais na água, incluindo mudança no pH, tornando-a mais ácida, com menor disponibilidade de oxigênio dissolvido, aumento da turbidez, além da contaminação da água e do solo por metais pesados, como o mercúrio. A contaminação por mercúrio é especialmente perigosa para a saúde humana, pois as ações podem acontecer em regiões distantes de onde ocorreu a contaminação, quando pessoas consomem peixes contaminados com esse metal, causando problemas nos sistemas digestivo e nervoso. Além disso, os organismos aquáticos ao serem contaminados e consumidos por outros organismos vão **biomagnificando** os metais pesados, ficando mais contaminados e as concentrações maiores de um nível trófico para outro ao longo da teia alimentar.

A **biomagnificação** é um processo de aumento da concentração de substâncias químicas ao longo da cadeia alimentar, com acumulação progressiva.



Figura 6: Garimpo ilegal na unidade de conservação Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque (Amapá - AP).

Fonte: O Eco - <https://oeco.org.br/salada-verde/garimpo-destruiu-mais-de-13-mil-hectares-em-unidades-de-conservacao-na-amazonia/>.

Quando o desflorestamento acontece ao longo das margens de um corpo d'água, conhecidas como zonas ripárias, pode afetar diretamente a qualidade da água. A remoção da vegetação que protege a água resulta em uma série de problemas, como a perda de proteção para o corpo d'água e as mudanças nas características naturais do ambiente.

A legislação ambiental brasileira exige a preservação de uma faixa de vegetação ao longo de rios e igarapés, considerada **Área de Preservação Permanente (APP)**. Por exemplo, igarapés e rios com até 30 metros de largura devem ter uma faixa de vegetação preservada de igual largura nos dois lados. No entanto, essa

legislação nem sempre é cumprida, tanto em áreas rurais quanto urbanas, o que leva à diminuição da qualidade da água e à perda de biodiversidade aquática.

Mesmo em áreas onde o reflorestamento foi realizado, ainda existem impactos diretos na biodiversidade, devido à perda e à homogeneização de habitats e da variedade de plantas. A situação é ainda mais grave quando o reflorestamento não utiliza as espécies nativas da região ou utiliza poucas espécies. Pois os organismos aquáticos não conseguem se alimentar das folhas de árvores exóticas, uma vez que muitas dessas possuem substâncias secundárias consideradas venenosas ou que inibem o consumo pela biodiversidade aquática.

Uma atividade ou empreendimento que utiliza recursos naturais e/ou pode causar impactos ao meio ambiente precisa obter uma licença ambiental. O **licenciamento ambiental** é um processo obrigatório estabelecido pelo Ibama com o objetivo de promover o desenvolvimento econômico sem causar a degradação do ambiente. O licenciamento conta com um estudo de impacto ambiental do empreendimento ou atividade para que seja firmado um compromisso, por meio do documento da licença, em mitigar a poluição e preservar os recursos naturais. No entanto, é necessário o monitoramento por órgão fiscalizador a fim de identificar se o compromisso está sendo honrado pela atividade licenciada.

Quais são os impactos da retirada da vegetação ripária na qualidade do ambiente?

A vegetação ripária desempenha papel fundamental na preservação dos recursos hídricos, contribuindo para a manutenção da integridade do ambiente e da qualidade da água. As plantas dessa área ajudam a manter o solo firme com suas raízes, permitindo a infiltração de água da chuva e contribuindo para a

estabilidade do solo. Além disso, servem como local de moradia e fonte de alimento para muitos animais e funcionam como um filtro de proteção, impedindo que sedimentos e contaminantes como agrotóxicos e pesticidas cheguem aos corpos d'água.

Quando a vegetação ripária é retirada, ocorre uma série de impactos negativos, causando a perda de todo esse habitat e alterando as condições ambientais tanto na parte terrestre quanto na aquática. O solo se torna vulnerável à ação dos ventos e das chuvas. Os barrancos tornam-se instáveis, e a área da bacia de drenagem sofre com a erosão, resultando na formação de sedimentos que podem ser transportados para rios, igarapés e lagos. O acúmulo de sedimentos em cursos de água é chamado de **assoreamento** (Figura 7), que, dependendo da intensidade, pode mudar tanto o leito quanto até mesmo bloquear a navegação, formar bancos de areia e alterar as condições naturais da água. Isso aumenta a turbidez da água, que é a medida da sua transparência, e prejudica o desenvolvimento de organismos aquáticos. Além disso, o assoreamento reduz o substrato aquático, o que afeta a vida aquática e altera as cadeias alimentares e o ecossistema como um todo.

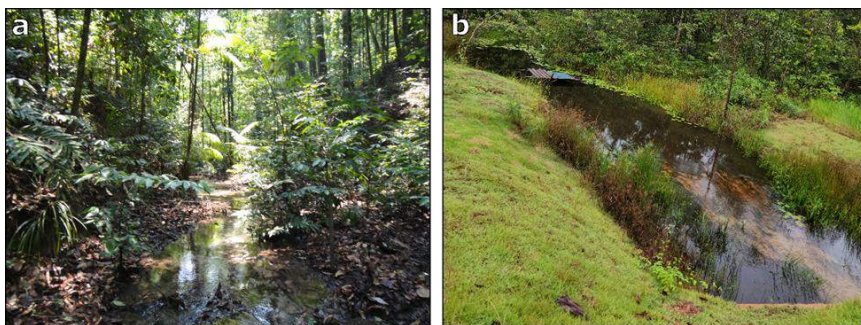


Figura 7: Corpo d'água prejudicado pelo assoreamento.

Fonte: Acervo do Laboratório de Ecologia e Conservação LABECO/UFPA.

Para entender como ocorre o assoreamento de um corpo d'água, clique [aqui](#) para acessar o vídeo produzido pela Associação Caatinga.

O desflorestamento nas zonas ripárias também reduz o sombreamento, uma vez que, sem vegetação, há maior entrada de luz solar, o que aumenta a temperatura da água. Isso pode prejudicar a sobrevivência das espécies que são sensíveis às mudanças nas temperaturas, tornando o ambiente hostil para elas. Além disso, as folhas, galhos e frutos que caem das árvores são fontes importantes de alimento para os insetos e peixes que vivem nesses ambientes. A retirada da vegetação significa a ausência desses recursos alimentares, forçando as espécies a migrar para outros locais ou até mesmo os levando à extinção local.

Para enfrentar esses problemas, as ações governamentais de fiscalização e monitoramento são fundamentais a fim de combater o desmatamento ilegal e a degradação ambiental. Essas medidas são essenciais para preservar os recursos naturais e proteger os ecossistemas aquáticos.

Biomonitoramento e insetos aquáticos

O biomonitoramento é uma prática muito importante para acompanhar e avaliar a qualidade do ambiente, identificando mudanças que podem ser causadas por fenômenos naturais ou por atividades humanas.

Conforme a ANA, o objetivo do monitoramento é garantir que a qualidade da água seja adequada ao uso e proteger os ecossistemas aquáticos. Desde 2013, a ANA tem estabelecido a **Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade da Água (RNQA)**. Cada estado opera seu próprio sistema de monitoramento, mas todos cooperam para fornecer informações padronizadas e fáceis de interpretar, permitindo análises integradas em nível nacional.

O processo de biomonitoramento envolve, 1) a coleta de amostras: amostras de água, ar e solo são coletadas em diferentes locais para análise; 2) análise de parâmetros: as amostras são analisadas utilizando parâmetros específicos que consideram o uso do recurso hídrico e a saúde do ecossistema, incluindo a medição

de variáveis como pH, oxigênio dissolvido e turbidez da água; e 3) produção de informações: os dados obtidos ajudam a avaliar a qualidade da água e identificar áreas que precisam de intervenção para melhorar o gerenciamento ambiental. Isso viabiliza a identificação de locais que necessitam de ações para melhor gerenciamento, com o objetivo de manter a integridade do ambiente, seja por meio de fiscalização, da implementação de áreas de preservação ou de mecanismos de conscientização ambiental.

O mesmo se aplica à análise da qualidade de outros parâmetros, como o ar e o solo, a fim de definir a qualidade ambiental de um local.

O período de **estiagem da Amazônia em 2023** ficou conhecido como a maior seca da história da região. Essa seca histórica está associada às mudanças climáticas, que causam o aquecimento das águas do oceano, e ao avanço do desmatamento. O aquecimento do oceano tem impacto na quantidade de chuvas, assim como a perda da floresta, uma vez que a evapotranspiração da vegetação está relacionada à formação de nuvens e chuva na região da Amazônia. Além do nível baixo dos rios, foram registradas altas temperaturas na água e a morte de peixes e botos. Nessa perspectiva, foi necessária a ação de órgãos e projetos de monitoramento, inclusive da ANA, para entender como a estiagem extrema afetou a disponibilidade e a qualidade da água para a população. Em termos gerais, pode-se entender que toda a qualidade ambiental foi afetada, em razão da perda de biodiversidade e da perda da qualidade da água.



Figura 8: Estiagem na Amazônia de 2023, margens do rio Purus.

Fonte: João Maciel de Araújo, Jornal da Unesp.

Todavia, todo o processo tem custos associados a equipamentos e equipes para que seja possível realizar a coleta e análise de amostras. Além disso, ele vai representar uma ação momentânea, fortemente influenciada por ações recentes, como a ocorrência de chuvas nas horas ou nos dias anteriores à coleta.

Assim, o **biomonitoramento** surge como um caminho de baixo custo e com vantagens de identificar os impactos nos organismos do ambiente, apesar do longo tempo de acompanhamento que demanda. Essa técnica, em conjunto com as avaliações quantitativas padrões, pode fornecer um panorama mais verdadeiro sobre a qualidade do ambiente.

O biomonitoramento busca avaliar a qualidade do ambiente por meio da compreensão da situação do ecossistema aquático a partir de **bioindicadores**, os quais são organismos vivos utilizados para essa finalidade. A análise ocorre ao identificar as respostas dos bioindicadores à situação do local, reconhecendo alterações que fornecem informações sobre a qualidade e a integridade do ambiente. Essas alterações podem ser por diminuir

a abundância, ou mesmo a presença ou ausência nos locais. Alguns impactos são tão altos que podem levar até mesmo à diminuição do tamanho corporal ou a deformações no corpo desses organismos que vivem nesses locais.

Os bioindicadores devem ser selecionados de forma específica para o parâmetro que se deseja observar. Por isso, é muito importante a realização de estudos e pesquisas na região, para que seja possível conhecer a biodiversidade existente e definir se um organismo pode ser utilizado de forma eficiente no biomonitoramento. Os **macroinvertebrados bentônicos** são organismos que vivem todo o ciclo de vida, ou parte dele, no ambiente aquático e são excelentes bioindicadores em virtude de suas elevadas exigências ambientais, baixa mobilidade e grande número de espécies. Para isso, observa-se a tolerância das espécies, distribuídas amplamente em locais de água doce, às mudanças ambientais, inclusive em relação à retirada da mata ciliar, para entender as condições de qualidade da água.

Dentre os macroinvertebrados aquáticos, destacam-se os **insetos aquáticos**, que apresentam pelo menos uma etapa de seu ciclo em ambientes aquáticos. Seu destaque se dá em função de como são impactados pelos diferentes usos da terra, em relação à abundância e ao número de espécies presentes em cada local, de modo que, em locais poluídos, podem ser encontrados poucos representantes de uma espécie que comumente se localiza em ambientes de água em boas condições.

Além das respostas fornecidas aos impactos ambientais, os insetos aquáticos são considerados úteis como bioindicadores por apresentarem pouco deslocamento, permitindo entender efeitos em uma área delimitada, e por seu ciclo de vida longo, que possibilita estudos de longo período; também pode-se destacar a facilidade e baixo custo para realizar a coleta desses organismos.

Alguns desses bioindicadores são insetos aquáticos da **ordem Odonata** (conhecidos popularmente como libélulas ou jacinas na Amazônia), os quais têm sua fase jovem (ovo e larva) em habitat aquático, sendo voadores quando adultos, em sua fase terrestre, mas permanecendo próximos desse ambiente. Justamente em razão dessa especificidade ambiental, tanto em ambiente aquático quanto em ambiente terrestre, são sensíveis às variações das condições naturais; por isso, essa ordem é bastante utilizada como bioindicador.

Apesar de existirem três subordens mundialmente, no Brasil encontram-se apenas as subordens **Zygoptera** (Figura 9) e **Anisoptera** (Figura 10). A subordem Zygoptera é caracterizada por indivíduos de voo limitado, com asas estreitas na base, que permanecem fechadas paralelamente ao corpo quando parados. A subordem Anisoptera tem maior capacidade de voo e pode percorrer longas distâncias. Esses indivíduos são mais robustos e têm asas largas na base, que permanecem abertas ao lado do corpo quando estão parados.



Figura 9: Espécie *Chalcopteryx rutilans* da família Polythoridae, da subordem Zygoptera e da ordem Odonata.

Fonte: Acervo do Laboratório de Ecologia e Conservação LABECO/UFPa.



Figura 10: Espécie *Zenithoptera lanei* da família Libellulidae, da subordem Anisoptera e da ordem Odonata.

Fonte: Acervo do Laboratório de Ecologia e Conservação LABECO/UFGA.

Usos de terra no Pará e bioindicadores

No estado do Pará, acontece uma situação muito frequente no bioma amazônico, que é o aumento do desmatamento e o uso da área desflorestada principalmente para a agricultura, mesmo que ainda existam áreas de mineração, pecuária, extração de madeira e urbanização. A retirada da vegetação nativa ao longo de cursos de água para dar lugar à atividade agrícola traz modificações ao ecossistema local (Figura 11).

igarapé do local de estudo, devendo os igarapés estar separados por, no mínimo, três quilômetros devido à capacidade de voo de insetos aquáticos em fase adulta.

Toda a caracterização do igarapé também é de grande importância, fornecendo informações sobre o ambiente, como a profundidade, a largura, o pH, a turbidez e outras características do curso d'água. Ainda, é necessário caracterizar o local, como a vegetação predominante, temperatura e outros.

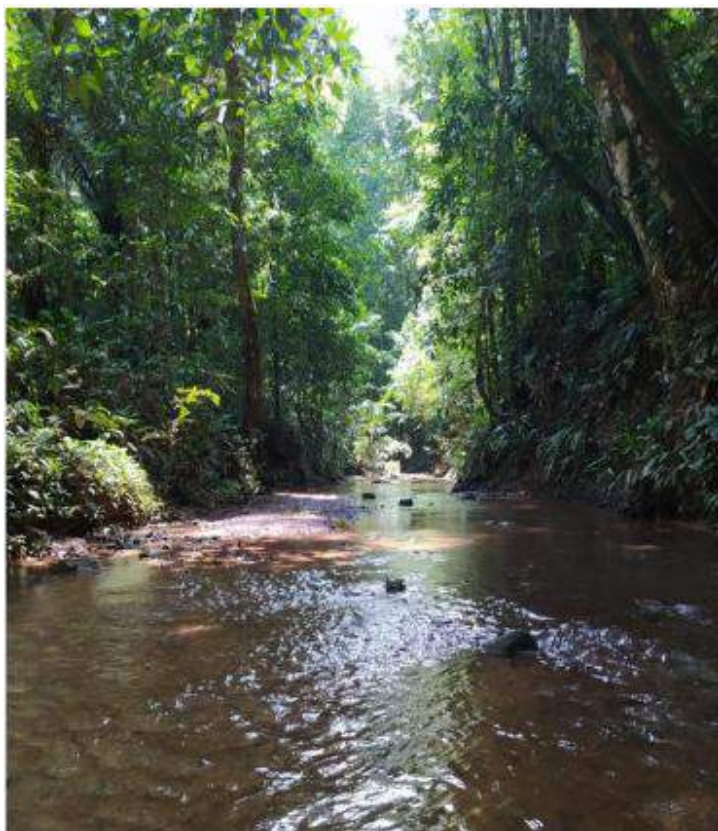


Figura 12: Igarapé localizado na Amazônia, no estado do Pará.

Fonte: Acervo do Laboratório de Ecologia e Conservação LABECO/UFPa.

Os equipamentos utilizados para coletar amostras dependem da fase de vida e das características dos insetos

aquáticos. Uma vez que os ovos e larvas geralmente são depositados nos substratos no fundo do curso d'água, a coleta é realizada com um amostrador chamado rapiché circular (rede de mão) contra o fluxo da água (Figura 13a). O material é colocado em uma bandeja branca para separação com pincéis e pinças (Figura 14), retirando os indivíduos que são fixados em álcool etílico e alocados em tubo plástico.

Insetos aquáticos da ordem Heteroptera, como os percevejos, são coletados pelo procedimento de passar uma peneira de mão (Figura 13b) na superfície da água, entre a vegetação ou entre as raízes das margens do igarapé. Já os insetos adultos, como as Odonata (libélulas), são coletados com rede entomológica (Figura 13c) e colocados em envelope com adição de acetona. Após esse procedimento de campo, as amostras são levadas para o laboratório para serem analisadas e identificadas até o menor nível taxonômico possível, que pode ser gênero ou espécie.

Por fim, todas as amostras coletadas são analisadas observando parâmetros associados às condições ambientais; consideram-se, por exemplo, a diversidade de espécies, a abundância e a riqueza de cada espécie.



Figura 13: Coleta de amostras de insetos aquáticos com rapiché circular (à esquerda), peneira de mão (no centro) e rede entomológica (à direita).

Fonte: Acervo do Laboratório de Ecologia e Conservação LABECO/UFPA.



Figura 14: Processo de imobilização das amostras coletadas, realizado em bandeja branca.

Fonte: Acervo do Laboratório de Ecologia e Conservação LABECO/UFGA.

Em virtude das grandes dimensões e do baixo número de pesquisadoras e pesquisadores na Amazônia, ainda existem muitas áreas que não sabemos quais espécies ocorrem lá e por isso, são consideradas áreas com lacunas de conhecimento. Adicionado ao fato da dificuldade de acesso aos locais. Apesar dessas dificuldades, as pesquisas e estudos têm avançado nos últimos anos, mostrando que os insetos aquáticos sofrem uma redução na quantidade de espécies e no número de indivíduos de cada espécie, devido aos impactos ambientais que diminuem a qualidade da água e prejudicam o habitat, podendo até causar a extinção desses organismos naquele local.

Os estudos com espécies da ordem Odonata mostram que são indicadores eficazes para detectar alterações ambientais. Isso porque a retirada da vegetação ripária ocasiona mudanças na variação de temperatura e na disponibilidade de oxigênio, o que causa modificações na composição de espécies e na abundância de indivíduos. Além disso, o risco de assoreamento tem impacto extremamente negativo no ciclo reprodutivo das espécies devido às mudanças no substrato do fundo do corpo d'água, onde são

depositados os ovos. Como resultado, observa-se que a perda da vegetação ripária causa uma diminuição drástica na abundância e na riqueza de indivíduos da subordem Zygoptera, mas, por outro lado, possibilita um aumento da presença da subordem Anisoptera.

Desse modo, a subordem Anisoptera fornece um indicador de **ambiente alterado** (Figura 15), por ser mais tolerante a certas variações de condições ambientais, como maiores temperaturas e espaços abertos para realizarem atividades, necessitando de maior entrada de luz e calor no ambiente, ainda assim, deve-se entender que esses indivíduos também são prejudicados pelas alterações. Ainda, os insetos aquáticos da subordem Anisoptera apresentam capacidade de se dispersar mais facilmente devido à sua mobilidade de voo, já os indivíduos da subordem Zygoptera têm a tendência a permanecer mais parados, sendo dependentes das condições locais e mais sensíveis às variações, podendo superaquecer e secar completamente devido ao tamanho menor de seus corpos. Logo, uma maior presença de espécies da subordem Zygoptera indica **ambiente preservado**, com a cobertura da vegetação ripária nativa.



Figura 15: Ambiente alterado no estado do Pará.

Fonte: Acervo do Laboratório de Ecologia e Conservação LABECO/UFGA.



Figura 16: Igarapé localizada em área de floresta.

Fonte: Acervo do Laboratório de Ecologia e Conservação LABECO/UFGA.

Substituir a vegetação nativa por plantações torna o ambiente inadequado para os organismos que habitam no local. Entender a estreita relação entre a preservação do ambiente e a diversidade e riqueza de espécies de insetos aquáticos, possibilitando identificar mais facilmente impactos da degradação do local na dinâmica e presença desses organismos.

Os laboratórios de pesquisa continuam a realizar estudos voltados a entender os impactos ambientais e a propor formas de conservação das áreas. O LABECO, por exemplo, tem projetos que buscam gerar informações sobre as espécies e onde elas estão, com a finalidade de contribuir para a compreensão de sua distribuição e conservação, avaliando como respondem às modificações ambientais. Esses projetos já realizaram coletas em

mais de 600 igarapés na Amazônia. Todos esses projetos contribuem para ampliar o conhecimento para uma atuação mais eficiente na proteção e fiscalização ambiental.



Figura 17: Pontos de amostragem onde a equipe do LABECO já realizou coleta em igarapés.

Fonte: Acervo do Laboratório de Ecologia e Conservação LABECO/UFGA.

E qual a importância disso?

Os interesses econômicos envolvidos com o uso da terra têm a tendência a direcionar as atividades para aquilo que lhe favorecem, de modo que cada vez mais a vegetação passa a dar lugar a locais para fins antrópicos que muitas vezes não consideram as leis e as consequências ambientais que podem causar.

O uso dos insetos aquáticos como bioindicadores em associação com as análises de parâmetros padrão contribui para

reconhecer locais que estejam sendo impactados por uma variedade de ações antrópicas.

As espécies das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera, conhecidas como EPT (Figura 17), também estão presentes em estudos sobre bioindicadores de qualidade ambiental, em razão da sensibilidade desses organismos às alterações ambientais, podendo refletir mudanças em mais de uma variável. Algumas espécies podem ser utilizadas para indicar alterações no pH e na temperatura da água, ou mesmo para identificar áreas que foram afetadas por atividades ribeirinhas, como o plantio, ou por exploração de madeira.



Figura 18: Representantes de insetos aquáticos coletados nos igarapés na Amazônia pelo LABECO. a) Odonata – *Chalcopteryx rutilans* (Foto: Carvalho, FG); b) Heteroptera – *Tachygerris adamsoni* (Foto: Cunha, EJ); c) Ephemeroptera – *Campylocia* (Foto: Lima, M); d) Plecoptera – *Anacroneuria* (Foto: Caetano, V) e e) Trichoptera – *Smicridea* (Foto: Martins, G).

Essas pesquisas permitem validar a prática de biomonitoramento por sua eficiência e baixo custo, fornecendo informações valiosas sobre a qualidade ambiental e contribuindo para um monitoramento mais eficiente.

Os dados obtidos viabilizam a implementação de ações voltadas ao desenvolvimento sustentável nesses locais, visando combater a poluição e a degradação dos recursos naturais, proteger a biodiversidade e permitir a conservação dos ecossistemas.

A **sustentabilidade**, tão enfatizada ao longo desse texto, se fundamenta no pensamento de que é possível impulsionar o desenvolvimento da humanidade, no uso de recursos para os mais variados fins, sem ocasionar a degradação ambiental. Nesse sentido, defende-se o uso consciente desses recursos, considerando o equilíbrio necessário entre as atividades de cunho econômico e a proteção do meio ambiente.

Ainda, pode-se chamar à atenção para a necessidade da fiscalização para evitar o desmatamento, em razão dos impactos negativos da retirada da vegetação ripária em todo o ecossistema, prejudicando a água e a biodiversidade, inclusive os insetos aquáticos.

Para que o biomonitoramento e a proteção dos recursos naturais e biodiversidade façam parte da realidade brasileira por meio das ações governamentais, é essencial que sejam fornecidos recursos para as pesquisas, com o objetivo de entender cada vez mais sobre as espécies e seus usos como bioindicadores, assim como para identificar os impactos das atividades antrópicas nos mais diferentes seres vivos e ambientes.

Você é uma peça valiosa para que isso seja possível, atuando como cidadão que busca usar sua voz para essas causas, visando a um futuro mais sustentável no Brasil. Além disso, você pode

atuar diretamente no seu dia a dia, evitando a poluição dos recursos naturais, divulgando a importância da preservação do meio ambiente e, quem sabe, atuando como pesquisador que contribui para a produção de conhecimento sobre esses temas!

Referências

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023: informe anual**. Brasília: ANA, 2024.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Portal da Qualidade das Águas**. Disponível em: <https://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 24 mai. 2024.

ANDRADE, R. O. Seca que afetou a Amazônia em 2023 causou a maior queda nos níveis dos rios já registrada, e está relacionada a mudanças climáticas, mostra estudo. **Jornal da Unesp**, 2024. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2024/04/24/seca-que-afetou-a-amazonia-em-2023-causou-a-maior-queda-nos-niveis-dos-rios-já-registrada-e-esta-relacionada-a-mudancas-climaticas-mostra-estudo/>. Acesso em: 04 jun. 2024.

Associação Caatinga. **O que é assoreamento?**. Disponível em: <https://www.acaatinga.org.br/o-que-e-assoreamento/>. Acesso em: 25 mai. 2024.

BRASIL, L. S. INSETOS AQUÁTICOS BIOINDICADORES DE MUDANÇAS DE USO DA TERRA NO PARÁ, BRASIL: EVIDÊNCIAS E PERSPECTIVAS. **Oecol. Aust.**, v. 26, n. 3, p. 424–444, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4257/oeco.2022.2603.03>. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/46345>. Acesso em: 26 mai. 2024.

BRASIL, Ministério de Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 31 de 17 de março de 2005**. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=102255>. Acesso em: 24 mai. 2024.

COELHO, H. A.; CORRÊA, A. A. (Coord.). Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de qualidade do meio ambiente**. [recurso eletrônico]: RQMA. Brasília, DF: IBAMA, 2022.

JUEN, L. *et al.* A importância dos insetos aquáticos como indicadores da qualidade da água na Amazônia. **The Conversation**, 2023. Disponível em: <https://theconversation.com/a-importancia-dos-insetos-aquaticos-como-indicadores-da-qualidade-da-agua-na-amazonia-215332>. Acesso em: 26 mai. 2024.

MENDES, T. P.; BENONE, N. L.; JUEN, L. To what extent can oil palm plantations in the Amazon support assemblages of Odonata larvae?. **Insect Conservation and Diversity**, v. 12, n. 5, p. 448-458, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/icad.12357>. Disponível em: <https://resjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/icad.12357>. Acesso em: 27 mai. 2024.

MODELLI, L. Mineração na Amazônia bate recordes de desmate nos últimos dois anos e avança sobre áreas de conservação. **G1**, 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2020/12/06/mineracao-na-amazonia-bate-recordes-de-desmate-nos-ultimos-dois-anos-e-avanca-sobre-areas-de-conservacao.ghhtml>. Acesso em: 27 mai. 2024.

OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B.; JUEN, L. The Zygoptera/Anisoptera Ratio (Insecta: Odonata): a New Tool for Habitat Alterations Assessment in Amazonian Streams. **Neotrop Entomol**, v. 48, p. 552–560, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13744-019-00672-x>.

Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13744-019-00672-x>. Acesso em: 26 mai. 2024.

OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B. *et al.* Effects of human disturbance and riparian conditions on Odonata (Insecta) assemblages in eastern Amazon basin streams. **Limnologica**, v. 66, p. 31-39, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2017.04.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0075951116301657>. Acesso em: 27 mai. 2024.

OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B. *et al.* Neotropical dragonflies (Insecta: Odonata) as indicators of ecological condition of small streams in the eastern Amazon. **Austral Ecology**, v. 40, p. 733-744, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/aec.12242>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/aec.12242>. Acesso em: 04 jun. 2024.

Organização do Tratado de Cooperação Amazônica (OTCA) *et al.* **Relatório sobre a situação da qualidade da água na bacia Amazônica** [recurso eletrônico]: resumo executivo. Brasília: OTCA, 2023. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/96626. Acesso em: 25 mai. 2024.

HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. Manaus: Editora do INPA, 2014.

PASSOS, A. L. L.; MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA FILHO, E. C. Critérios para avaliação da qualidade de água no Brasil: um questionamento sobre os parâmetros utilizados. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 7, n. 2, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2018v7i2.p290-303>. Disponível em: <http://periodicos.unievangelica.edu.br/fronteiras/>. Acesso em: 24 mai. 2024.

QUEIROZ, M. E. F. *et al.* Utilização de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores em córrego urbano de Conceição do Araguaia-PA. **Sustentabilidade em Debate - Brasília**, v. 9, n. 3, p. 96-110, dez/2018. DOI: <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v9n3.2018.18378>. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/18378>. Acesso em: 26 mai. 2024.

RODRIGUES, P. da C. .; ANDRADE, M. R. de . Environmental Licensing: An analysis between economic development and conservation. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 12, n. 9, p. e14512943365, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i9.43365. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/43365>. Acesso em: 4 jun. 2024.

Macrófitas aquáticas na Amazônia: a diversidade para além das vitórias-régias



Aline Samara Lima de Jesus (UFAM)¹

Ana Luisa Biondi Fares (UFPA)²

Thaísa Sala Michelin (UFPA)³

Você já teve curiosidade de pesquisar no google qual a planta símbolo da Amazônia? Então, se você vive no Brasil, deve ter pensado na **vitória-régia** não é mesmo?

¹ Estudante UFAM.

² Doutora em Ecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal do Pará (UFPA); Laboratório de Ecologia de Produtores Primários (ECOPRO)".

³ Professora do Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará (UFPA); Laboratório de Ecologia de Produtores Primários (ECOPRO)".



Figura 1: Captura de tela do google: Qual é a planta símbolo da Amazônia?

Brincadeiras à parte, de acordo com Instituto Sociedade, População e Natureza^[1] (ISPIN), a vitória-régia realmente é um símbolo da Amazônia e é considerada uma das **maiores plantas aquáticas do mundo**, fonte de inspiração para a lenda popular que narra que uma jovem indígena que tanto admirava a Lua sumira depois de tentar tocá-la no seu reflexo nas águas de um rio, daí em diante a Lua sentiu pena daquela jovem, agora perdida, e a transformou em uma vitória-régia, uma flor gigante, com pétalas que se abrem nas águas para receber a luz da Lua.

Seguindo esse mesmo sentido de atribuir **representatividade**, quem gosta de música pop deve lembrar do clipe da música *"Is that for me"* da cantora Anitta em parceria com um DJ sueco, lançado em 2017.

<p style="text-align: center;">IGARAPÉ</p> <p>alavra de origem tupi ^[2], formada pela junção de ygara (canoa) eapé (caminho). Significa "caminho de canoa".</p>	<p>Na época, esse clipe bombou nas mídias sociais pelo cenário um tanto quanto incomum... a Amazônia! E uma das cenas mais marcantes é da própria cantora dentro de um igarapé na cidade de</p>
---	--



Figura 2: Recorte do clipe "Is that for me" da cantora Anitta.^[3]

Em entrevista ao programa Altas Horas, ela disse que escolheu esse cenário como forma de mostrar ao mundo a beleza, a natureza e a conscientização sobre a proteção do meio ambiente.

Bom, podemos concordar que o mundo realmente precisa conhecer a Amazônia, mas não somente a beleza estampada nos clipes e redes sociais, mas sim toda a sua relevância por trás de cada folha submersa ou não nos rios que cortam a floresta.

As vitórias-régias, por exemplo, fazem parte de um grupo diverso chamado de macrófitas aquáticas, que são um grupo de plantas macroscópicas que habitam diversos ecossistemas aquáticos e áreas úmidas ^[4].

Logo, a vitória-régia é apenas uma de dezenas de espécies que vivem nas águas da Amazônia e que têm tanto potencial quanto a vitória-régia (*Victoria amazônica*).

Por isso, daqui em diante vamos conhecer alguns eixos de uma pesquisa científica que investiga as macrófitas aquáticas, sua diversidade, funções, aplicações e etc.

Para início de conversa, quer saber onde essa pesquisa está sendo desenvolvida?



Essa pesquisa em específico está sendo desenvolvida em Belém, no Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Pará, inserida no Programa de Pós-graduação em Ecologia (PPGECO), que possui o objetivo de formar mestres e doutores com entendimento dos princípios que regem os sistemas ecológicos, além das aplicações práticas dos conceitos ecológicos adquiridos.

O PPGECO atualmente está estruturado em quatro linhas de pesquisa:

- Ecologia Teórica e Aplicada;
- Ecologia de Paisagem;
- Ecologia de Organismos e Populações;
- Ecologia de Comunidades e Ecossistemas*.

O destaque vai para a última linha de pesquisa (onde os estudos sobre macrófitas aquáticas estão sendo desenvolvidos), que engloba estudos de diversos ramos da ecologia, resumidos nessa nuvem de palavras.



Figura 3: Nuvem de palavras sobre a linha de pesquisa onde as macrófitas estão inseridas.

E se você tem interesse em conhecer mais sobre essa linha de pesquisa, e o PPGECO, clique aqui ([PPGECO](#)).

E o que as vitórias-régias têm a ver com “macrófitas aquáticas”?

No início, esse termo “macrófitas aquáticas” pode parecer difícil ou complicado de entender e relacionar a algo que já conhecemos ou vimos pela televisão, mas garanto que, até o final do texto, você vai lembrar de várias macrófitas que já viu por aí.

Então, as macrófitas aquáticas são um grupo de plantas que habitam diversos ecossistemas aquáticos e áreas úmidas. Essas plantas são diferentes das algas, especialmente por formarem tecidos verdadeiros e serem facilmente vistas a olho nu – o que

explica o seu nome, macro (visível a olho nu) + fita (que vem de fito, significa vegetal).

A definição ecológica denomina macrófitas aquáticas como **espécies vegetais visíveis a olho nu**, cujas partes fotossintetizantes ativas ficam permanentemente ou por alguns meses do ano **submersas ou flutuantes na coluna d'água** ^[4].

As vitória-régias fazem parte desse grupo e são bem famosas pela sua beleza e imponência quando são vistas, por isso, grande parte da população vê essa macrófita aquática como uma espécie de símbolo da Amazônia, mesmo sem saber a sua função e importância para aquele ambiente.



Figura 4: Ambiente aquático com macrófitas ^[5]

Mas você já parou para pensar nas outras plantas aquáticas presentes nesse mesmo ambiente da imagem anterior?

Qual a função das macrófitas aquáticas?

As macrófitas aquáticas desempenham importantes papéis para a manutenção da biodiversidade ^[6], para o metabolismo e para a estrutura dos ambientes aquáticos, além de funcionarem como indicadoras da qualidade da água, sendo responsáveis por importantes funções:

- **Realizam a ciclagem de nutrientes:** As macrófitas aquáticas fixas, que são enraizadas no sedimento, podem absorver os nutrientes das camadas profundas e torná-los disponíveis a outras comunidades através do efeito de bombeamento nos ecossistemas aquáticos ^[6].
- **Removem nutrientes de ambientes eutrofizados:** Algumas espécies (figura 5) apresentam um importante papel na remoção de nutrientes em ambientes que apresentam eutrofização; por isso, podem agir como agentes despoluidores ^[6].

EUTROFIZAÇÃO

A eutrofização consiste no aumento excessivo de nutrientes na água, podendo ser causada por drenagem de fertilizantes agrícolas, águas pluviais de cidades, detergentes, resíduos de minas, drenagem de dejetos humanos, entre outros [7]. A palavra eutrófico significa rico em nutrientes e eutrofização ou eutroficação vem do grego eu, “bem” e trophein “nutrir” ou seja: bem nutrido [8].

- **Fornecem materiais de importância econômica para a sociedade:** Podem ser utilizadas como alimento para o homem e para o gado e, ainda, como adubo orgânico. Servem também como matéria-prima para a fabricação de remédios, utensílios domésticos, artesanatos e tijolos para a construção de casas [6].



Figura 5: macrófitas despoluidoras [9]



Figura 6: Macrófitas sendo coletadas para produção de adubo orgânico^[10].

Um exemplo de aproveitamento dessas macrófitas é o projeto de uma empresa [10] de geração de energia de Minas Gerais, que promove a retirada das macrófitas do reservatório da Usina de Aimorés, hidrelétrica operada pela empresa no Leste de Minas Gerais. Mas, em vez de descartar esse vegetal rico em nutrientes, transforma-o em adubo orgânico, que é utilizado no programa de reflorestamento da mata ciliar. (citar aliança energia)

- **Favorecem o desenvolvimento da comunidade do perifíton.** O caule, as raízes e as folhas submersas das plantas proporcionam um ambiente adequado para a comunidade do perifíton, uma vez que podem reter material particulado^[6].

PERIFÍTON

O perifíton é definido como uma complexa comunidade de microorganismos que vivem aderidos aos substratos orgânicos e inorgânicos e constituem uma importante base alimentar para outros organismos, como peixes, crustáceos, moluscos, entre outros^[11].

- **Proporcionam heterogeneidade de habitat.** As macrófitas criam ambientes favoráveis a uma fauna diversificada de insetos, peixes, aves e mamíferos, já que proporcionam

refúgio, locais para reprodução e recursos a esses organismos ^[6].

- **Protegem as margens do corpo d'água contra a erosão.** As macrófitas emersas podem contribuir para a proteção das margens, já que conferem maior estabilidade ao entorno dos sistemas aquáticos devido à sua fixação no solo, atuando ainda como filtros para a entrada de sedimentos ^[6].



Figura 7: Macrófitas em margens de rios ^[13]

Na imagem anterior, podemos ver um exemplo de corpo hídrico com vários tipos de macrófitas aquáticas exercendo a função de proteção das margens do rio.

Como são classificadas as macrófitas aquáticas?

Se lembrarmos de um ambiente aquático que já visitamos ou vimos em alguma rede social fica mais fácil imaginarmos a diversidade desse grupo, e tentar compreender um pouco mais sobre essas espécies escondidas por trás da fama da vitória-régia.

Como sabemos, na Biologia as informações sobre as espécies precisam ser organizadas de forma que haja uma ordem comum na classificação das coisas, e com as macrófitas não seria diferente. Elas são classificadas em grupos considerados essenciais para determinar a estrutura de uma comunidade de macrófitas aquáticas ^[12]

As macrófitas podem ser classificadas em **seis grupos** ecológicos de acordo com sua posição em relação à superfície da água: anfíbias, emergentes, enraizadas com folhas flutuantes, submersas livres, submersas fixas e flutuantes livres ^[4].



Figura 8: Classificação dos grupos ecológicos de macrófitas aquáticas: (1) Anfíbia; (2) Emergente; (3) Enraizada com folhas flutuantes; (4) Submersa livre; (5) Submersa fixa; (6) Flutuante livre ^[4].

Em uma área comum, geralmente as plantas anfíbias e emergentes aparecem nas margens e áreas mais rasas; à medida que a coluna de água começa a ficar mais profunda, surgem as espécies enraizadas de folhas flutuantes e, mais profundamente, aparecem as espécies flutuantes livres e submersas livres ^[6].

Agora que você já está mais familiarizado com as macrófitas aquáticas, já entende sua importância e conhece as suas variedades, vamos falar sobre alguns recortes de duas pesquisas científicas que investigam alguns fatores importantes sobre ela.

Do que se trata essas pesquisas?

A primeira pesquisa investiga a diversidade de macrófitas aquáticas no arco de desmatamento amazônico e abrange informações sobre sua distribuição, formas de vida e hábitos. Ela está disponível na íntegra no site da revista [Rodriguésia](http://rodriguésia.fbrj.gov.br) (Revista do Jardim Botânico do Rio de Janeiro) e foi desenvolvida por pesquisadores atuantes na região Norte do Brasil.

Rodriguésia 72: e00312020. 2021

<http://rodriguésia.fbrj.gov.br>

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860202172117>

Original Paper

Diversity of macrophytes in the Amazon deforestation arc: information on their distribution, life-forms and habits

Ana Luísa Biondi Fares^{1,2,4,10}, Raimundo Luiz Moraes de Sousa^{1,2,5}, Ely Simone Cajueiro Gurgel^{2,6}, André dos Santos Bragança Gil^{2,7}, Carlos Alberto Santos da Silva^{2,8} & Thaís Sala Michelin^{1,2,3,9,10}

Figura 9: Pesquisa original, publicada na revista Rodriguésia [13].

Não é novidade para ninguém que a Amazônia possui o maior sistema fluvial do planeta, abrigando uma diversidade parcialmente desconhecida. Em relação às macrófitas aquáticas, muitas espécies permanecem não descritas, devido à imensa escala e complexidade da Amazônia, e porque muitos habitats estão agora cada vez mais sob pressão de atividades promovidas pelos seres humanos [13]. Como já sabemos, as macrófitas são importantes para os processos físicos e biológicos nos ecossistemas aquáticos, mas ainda são pouco estudadas no Norte do Brasil. E, ao considerar essa lacuna, o objetivo desta pesquisa é fornecer uma lista de espécies de macrófitas que ocorrem em municípios do **Arco do**

Desmatamento no estado do Pará, especificamente em Paragominas e Tomé-Açu, trazendo informações sobre seus hábitos e formas de vida.

ARCO DO DESMATAMENTO

Região onde a fronteira agrícola avança em direção à floresta e também onde encontram-se os maiores índices de desmatamento da Amazônia. São 500 mil km² de terras que vão do leste e sul do Pará em direção oeste, passando por Mato Grosso, Rondônia e Acre ^[14].

Para alcançar esse objetivo, no período de julho de 2017 a maio de 2018, foram coletadas amostras em 36 locais dentro dos limites de Paragominas e de Tomé-Açu. Ao todo, os ambientes de coleta foram classificados em riachos (23), lagos (7) e lagoas (6) [13].





Figura 10: Exemplos de pontos de coleta da pesquisa ^[13]

As imagens acima representam alguns dos pontos de coleta dessa pesquisa. A vegetação dessas áreas consiste em grandes fragmentos de floresta tropical, misturados com vários usos humanos da terra (por exemplo, agricultura, pastagem, exploração madeireira e atividades de mineração ^[15].

Para dar conta de ambientes tão diversos, foi tomada nota de todas as espécies de macrófitas que ocorreram em um **transecto** de 150 m de cada ecossistema aquático. Para calcular a composição de espécies de macrófitas dentro do transecto, utilizamos um quadrado de PVC medindo 1 m², no qual a porcentagem de cobertura ^[13].

TRANSECTO

inha ou secção através de uma faixa de terreno, ao longo da qual são registradas e contadas as ocorrências do fenómeno que está a ser estudado ^[16].

Essa estrutura foi lançada aleatoriamente duas vezes nas esteiras de macrófitas, com exceção de dois locais, onde foram lançados apenas onze, totalizando 70 quadradinhos. As macrófitas foram coletadas manualmente ou com tesoura de poda.

Sempre que possível, as espécies foram identificadas em campo e o material não identificado foi coletado seguindo técnicas de Herbário ^[17].



Figura 11: Quadrado de PVC utilizado na coleta ^[13].

Como essas amostras eram compostas por amostras ativas de campo, resultando em novas coleções para a área, todo o material coletado foi identificado ao menor nível taxonômico possível. Também foram calculados a frequência de ocorrência de cada espécie (o número de locais onde uma espécie foi registrada)

e registramos o tipo de corpos d'água onde foram encontradas (riacho, lagoa e lago) ^[13].

E quais foram os principais resultados dessa pesquisa?

Em resumo, com essa pesquisa, podemos responder as seguintes perguntas:

Qual o número de macrófitas que ocorrem nesta região?

Ao final de todo esse processo de coleta em campo, registramos 50 espécies, divididas em 38 gêneros e 24 famílias de plantas vasculares, samambaias e licófitas entre diferentes tipos de ecossistemas de água doce. A riqueza total de espécies por local variou de uma a dezesseis espécies, com 22% das espécies registradas ^[13].

Quais são as suas formas de vida?

Como vimos no início do texto, as formas de vida das macrófitas aquáticas são classificadas em sete grupos (citar estes): anfíbias, emergentes, epífitas, com folhas flutuantes, flutuantes livres, submersas livres e submersas com raízes ^[13].

Nesta pesquisa, foram registradas cinco formas de vida distintas de macrófitas. A forma de vida anfíbia apresentou o maior número de espécies (30), que compreende 60% da riqueza total de espécies, seguida pelas espécies emergentes, que representaram 26%

da riqueza total (13). Outras formas de vida incluíram submersas com raízes, com 8% (4 espécies), folhas flutuantes, com 4% (2), e submersas livres, com 2% (1) da riqueza total de espécies ^[13].

É importante identificar as formas de vida das macrófitas nos ecossistemas aquáticos, pois cada uma utiliza os recursos da água ou do sedimento próximo à margem de forma diferente ^[18].



Quais são os tipos de ecossistemas/corpos de água aquáticos onde podem ser encontrados? A composição das espécies muda de acordo com o tipo de ecossistema?

Em diferentes ecossistemas, os riachos tiveram o maior número de registros de espécies de macrófitas (mas é importante enfatizar que tivemos mais locais em riachos se comparados com locais lânticos ^[13].

Ao avaliar a variação na composição de espécies entre os três tipos de ambientes não foi observar nenhum padrão de separação dessa composição entre os tipos de ecossistemas deste estudo ^[13].

A segunda pesquisa buscou entender quais fatores ambientais (na escala local e regional) afetavam a diversidade das macrófitas em locais que possuíam efeito de múltiplos usos da terra (por exemplo pastagem, agricultura, mineração, urbanização, entre outras), com intuito de investigar o potencial bioindicador das macrófitas em ambientes degradados. Este artigo foi publicado na revista *Ecological Indicators*, uma revista internacional criada na Holanda, e que hoje possui acesso aberto para todos os seus artigos.



Figura 12: Pesquisa original, publicada na revista Ecological Indicators [19].

O que são bioindicadores?

Bioindicadores são espécies, grupos de espécies ou comunidades cuja presença, abundância e condições refletem uma condição ambiental específica. Eles são utilizados para analisar fatores antropogênicos ou naturais com potencial de causar impactos, sendo uma ferramenta importante na avaliação da integridade ecológica dos ecossistemas.

As ações antrópicas (aquelas causadas pelos seres humanos), principalmente relacionadas à conversão de áreas naturais para o uso da terra, estão entre os principais fatores que afetam a biodiversidade global na atualidade. Na Amazônia, por exemplo, a conversão de áreas de floresta desmatadas em diferentes usos da terra (como agricultura, pastagens e áreas de

mineração) causa a degradação tanto dos ecossistemas terrestres quanto dos aquáticos.

Nos ambientes aquáticos, essa degradação acontece em efeito cascata, onde as alterações começam na estrutura física destes ambientes (como a retirada da mata ciliar, o assoreamento dos canais, e mudança nos parâmetros da água) afeta diretamente as comunidades de organismos que vivem ali, como insetos, peixes, e as macrófitas aquáticas.

Como já foi mostrado antes, as macrófitas são bastante sensíveis as características ambientais onde vivem, e dependendo da forma como o uso da terra modifica o ambiente, algumas espécies de macrófitas podem se beneficiar e crescer bastante, se tornando dominantes, enquanto outras espécies podem simplesmente desaparecer.

De qualquer forma, as mudanças provocadas pelas ações antrópicas desequilibram as comunidades naturais. E é por isso que entender como as diferentes espécies de macrófitas responde às mudanças no uso da terra é importante, pois elas podem ser valiosas bioindicadoras para nós avaliarmos a integridade dos ecossistemas de água doce, que são tão importantes não só para a biodiversidade da nossa região, mas para várias atividades da nossa sociedade, como o abastecimento de água potável, o transporte, a alimentação, etc.

Dessa forma, o **objetivo** desta pesquisa foi avaliar os efeitos do uso da terra sobre a diversidade de macrófitas aquáticas, além de identificar espécies consideradas bioindicadoras de ambientes íntegros e degradados. A pesquisa também foi realizada no município de Paragominas, em julho de 2017.

O que foi investigado nessa pesquisa?

Nesse estudo, foram amostrados 30 locais, utilizando a mesma metodologia do quadrado descrita na pesquisa anterior. Foram avaliadas as medidas de diversidade de riqueza e composição de espécies. Mas, nesse caso, como o objetivo era relacionar a diversidade de plantas ao ambiente, também foram medidos parâmetros ambientais – as variáveis físico-químicas da água e a cobertura de dossel. Além disto, como se tratava de áreas com influência de vários usos da terra, foi preciso fazer a caracterização da paisagem onde a coleta foi realizada, para obter dados de uso e cobertura da terra, utilizando análises de sensoriamento remoto.

A diversidade de espécies refere-se à variedade de organismos vivos em um ecossistema específico. Essa diversidade pode ser observada em diferentes níveis, desde a diversidade genética dentro de uma espécie até a diversidade de espécies em uma área. A preservação e o estudo dessa diversidade são cruciais para a compreensão e conservação dos ecossistemas, bem como para a manutenção da vida na Terra.

A diversidade pode ser dividida em 3 grandes níveis: diversidade alfa, beta e gama. A diversidade alfa se refere à diversidade local, que é o número de espécies numa pequena área de habitat homogêneo. A diversidade gama é a diversidade regional, ou seja, o número total de espécies observado e, todos os habitats dentro de uma área geográfica. Por fim, a diversidade beta é a diferença (ou dissimilaridade) entre as espécies de um habitat para o outro.

Na pesquisa de que estamos falando, foram usadas métricas de diversidade alfa e beta, respectivamente: a riqueza de espécies (número total de espécies encontradas no ponto amostral) e a composição de espécies (que indica quais são as espécies presentes naquele local, bem como a sua abundância – que pode ser número de indivíduos ou ocupação dentro da área).

Quais os resultados mais relevantes encontrados?

Através de várias análises estatísticas, observou-se que a riqueza de espécies de macrófitas é afetada principalmente pela cobertura de dossel, que está muito relacionada com a degradação pelos usos da terra – em locais onde a cobertura de dossel era menor (ou seja, eram ambientes mais abertos), os usos da terra mais agressivos como pasto e solo exposto eram dominantes. Curiosamente, a riqueza de macrófitas **aumentou** nos locais mais degradados. Isso aconteceu devido à entrada de luz nos leitos dos ambientes aquáticos, que era muito maior nos locais com menor cobertura de dossel.

Já para a composição de espécies, constatou-se que ela foi afetada principalmente pela cobertura de dossel e a turbidez e pH da água. Isso mostrou que espécies diferentes estão associadas a diferentes faixas de incidência de luz, turbidez e pH da água, mudando então a composição de espécies dos locais conforme estas características ambientais variavam. Dessa forma, acredita-se que a diversidade em locais mais alterados diminuirá com o tempo, à medida que os ambientes se degradarem, e por conta da dominância e do crescimento descontrolado de algumas espécies de macrófitas e até de algas.

Por fim, a análise de bioindicadores apontou três espécies de macrófitas como indicadoras de aumento ou diminuição da cobertura de dossel nos ambientes. Elas foram a *Eleocharis interstincta* (Cyperaceae) e *Utricularia gibba* (Lentibulariaceae), que são indicadoras de perda de dossel (ou seja, ambientes mais degradados), e *Triplophyllum dicksonioides* (Tectariaceae), que é indicadora de locais com maior dossel (mais preservados).

E. interstincta (Figura 13) é uma espécie emergente que precisa de muita luz para se estabelecer e crescer nos habitats, e geralmente indica um estágio intermediário de sucessão vegetal em ecossistemas de água doce. A presença desta espécie pode indicar um estágio inicial de sucessão, após a perda da vegetação ciliar.



U. gibba é uma espécie submersa que ocorre em locais com baixa incidência de luz, baixa disponibilidade de nutrientes e baixo fluxo de água, além de ser uma planta carnívora, que se alimenta principalmente de micro-organismos (zooplâncton). As espécies carnívoras são competidoras ruins por recursos (por exemplo, luz e nutrientes) e geralmente precisam de algum tipo de perturbação

para reduzir a intensidade da competição. Talvez essa espécie possa se desenvolver em locais mais alterados, com maior incidência de luz, devido ao seu hábito carnívoro, já que não depende de nutrientes na água para obter recursos para a sobrevivência, confiando em suas armadilhas para obter nutrientes consumindo plâncton.



Figura 13: Espécie indicadora: *Eleocharis interstincta* [19]

A espécie *T. dicksonioides* foi selecionada como indicador do aumento da cobertura do dossel. Essa espécie é uma samambaia anfíbia comumente encontrada em habitats ripários, ocorrendo principalmente em locais sombreados e úmidos, e foi registrada nas margens de corpos d'água com vegetação ripária circundante. Uma boa condição de mata ciliar pode proporcionar um microclima (sombreamento e umidade) adequado às samambaias. Assim, como uma samambaia anfíbia tolerante à sombra, essa espécie pode ser um indicador de habitats altamente sombreados (menos alterados).



Figura 14: Espécies indicadora: *Triplophyllum dicksonioides* [19]

E por que esses resultados são importantes?

Resultados de pesquisa como esses são importantes porque contribuem para uma compreensão mais ampla sobre a distribuição das macrófitas aquáticas no bioma Amazônia, além de caracterizar espécies, ambientes e formas de vida pouco investigados [13]. Além disto, estudos que buscam entender os efeitos das ações antrópicas nessas comunidades são importantes para compreender o tamanho do impacto ambiental causado nos ecossistemas de água doce, além de servir como subsidio para a elaboração de estratégias de restauração e conservação desses ambientes

Também foi possível concluir que os ecossistemas aquáticos localizados no Arco do Desmatamento apresentam elevada

diversidade de macrófitas. A *Cyperaceae* e *Poaceae* possuem o maior número de espécies e grande variedade de formas de vida que ocorrem nessas áreas, mesmo que a maioria das espécies pertença ao grupo emergente ou anfíbio ^[13].

Qual a relevância dessa pesquisa?

Os estudos sobre macrófitas aquáticas desempenham um papel importante para a manutenção da biodiversidade e do funcionamento dos ecossistemas aquáticos. Elas fornecem habitats, alimento e refúgio a uma variedade de organismos, contribuem para a ciclagem de nutrientes e para a oxigenação da água, além de auxiliarem na estabilização do substrato ^[4].

Essas pesquisas, em específico, contribuem para a avaliação das macrófitas aquáticas na Amazônia, especialmente em regiões mais degradadas, como o arco de desmatamento amazônico, e também investigam os efeitos dos usos da terra na diversidade dessas plantas, enfatizando as particularidades desses ambientes constantemente modificados pela ação antrópica ^[13].

E não menos importante, essa pesquisa contribui para o desenvolvimento da ciência, para que esses resultados sejam divulgados e investigados, a fim de compreender características particulares dessa região, bem como ajudar na elaboração de políticas para a restauração e preservação dos ecossistemas de água doce.

Espero que você tenha compreendido o que é uma macrófita aquática, alguns conceitos empregados na Biologia, os fatores ambientais que afetam sua diversidade, bem como a importância delas para o ecossistema, e que se lembre de que esse grupo possui uma diversidade enorme por trás da fama da vitória-régia.

Se você quiser saber mais detalhes sobre essa e outras pesquisas de macrófitas aquáticas, não deixe de visitar o site do

grupo de pesquisa ECOPRO, e fique por dentro das investigações mais recentes dos pesquisadores da UFPA.



**E lembre-se: A Universidade Pública é para todos e sempre
estará de portas abertas para novas mentes curiosas.**

Referências

[1] Fauna e flora da Amazônia – ISPN. Disponível em:
<https://ispn.org.br/biomas/amazonia/fauna-e-flora-da-amazonia/>.
Acesso em 26 mai. 2024.

[2] Igarapés: o que tu sabes sobre eles? – UFRA. Disponível em:
[https://novo.ufra.edu.br/index.php?option=com_content&view=ar
ticle&id=3484:igarapes-o-que-tu-sabes-sobre-
eles&catid=17&Itemid=121](https://novo.ufra.edu.br/index.php?option=com_content&view=article&id=3484:igarapes-o-que-tu-sabes-sobre-eles&catid=17&Itemid=121). Acesso em: 22 mai. 2024.

[3] Analisando o clipe “Is that for me” - LinkedIn. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/me-uma-an%C3%A1lise-quase-semi%C3%B3tica-do-novo-clipe-de-anitta-daniella-vinci>. Acesso em 03 mai. 2024.

[4] Monitoramento de Macrófitas Aquáticas: seu uso e importância no Licenciamento Ambiental. 2024. In: Monitorando a Biota Aquática no contexto do Licenciamento Ambiental.

[5] Vitória-régia – Pixabay. Disponível em: <https://pixabay.com/pt/photos/natureza-lago-agua-flor-florescer-4462166/>. Acesso em 06 mai. 2024.

[6] Macrófitas Aquáticas. Caracterização e importância em reservatórios hidrelétricos / Cemig. Fotos iStock. Belo Horizonte. Cemig 2021. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2021/03/livro-macrofitas-cemig-2021.pdf>. Acesso em 04 jun. 2024.

[7] BARRETO, Luciano et al. Eutrofização em rios brasileiros. Enciclopédia biosfera, v. 9, n. 16, 2013. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3521>. Acesso em 29 mai. 2024.

[8] SMITH, Val H.; SCHINDLER, David W. Eutrophication science: where do we go from here?. **Trends in ecology & evolution**, v. 24, n. 4, p. 201-207, 2009. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/fulltext/S0169-5347\(09\)00041-X](https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/fulltext/S0169-5347(09)00041-X). Acesso em 27 mai. 2024

[9] MARQUES, Márjori Brenda Leite. Wetlands: uma alternativa ecológica para o tratamento de efluentes. Simpósio brasileiro online de gestão urbana (SIBOGU), 2018. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/16122431/>. Acesso em 04 jun. 2024.

- [10] Adubo orgânico a partir de plantas aquáticas – Aliança energia. Disponível em: <https://aliancaenergia.com.br/noticias/alianca-produz-adubo-organico-a-partir-do-controle-de-plantas-aquaticas-no-reservatorio-da-uhe-aimores/>. Acesso em 04 jun. 2024.
- [11] BARROS, Gabriele Luini Lima. Levantamento da composição de algas perifíticas de ecossistema aquático da área de proteção ambiental (apa) do rio curiaú- amapá no período de junho de 2016 a outubro de 2017 (TCC) – Bacharelado em ciências ambientais, Universidade Federal do Amapá, 2019. Disponível em: https://www2.unifap.br/cambientais/files/2019/09/TCC-GABRIELE_LUINI-_LIMA_BASTOS.pdf. Acesso em 01 jun. 2024.
- [12] PEDRALLI, G. Macrófitos aquáticos: técnicas e métodos de estudos. Estudos de Biologia, v. 26, n. 1, p. 5-24, 1990.
- [13] FARES, Ana Luísa Biondi et al. Diversidade de macrófitas no arco de desmatamento da Amazônia: informações sobre sua distribuição, formas de vida e hábitos. Rodriguésia, v. 72, pág. e00312020, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rod/a/SJR6mMyXwh7Wh3jsLT9p9TK/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 03 mai. 2024.
- [14] Arco do desmatamento – IPAM. Disponível em: <https://ipam.org.br/glossario/arco-do-desmatamento>. Acesso em 04 jun. 2024.
- [15] PINTO, Andréia et al. Diagnóstico socioeconômico e florestal do município de Paragominas. Belém: Imazon, 2009. Disponível em: <https://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/outros/iagnostico-socioeconomico-e-florestal-do.pdf>. Acesso em 04 jun. 2024.
- [16] Transecto. Disponível em: <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/transecto>. Acesso em 04 jun. 2024.

[17] ROTTA, Emilio; BELTRAMI, LC de C.; ZONTA, M. Manual de prática de coleta e herborização de material botânico. 2008. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/315636/1/Doc173.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2024.

[18] MORMUL, Roger Paulo et al. Macrófitas aquáticas no grande reservatório subtropical de Itaipu, Brasil. *Revista de biologia tropical*, v. 4, pág. 1437-1451, 2010. Disponível em: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442010000400030&script=sci_arttext&tlng=en. Acesso em 04 jun. 2024.

[19] FARES, Ana Luisa B. et al. Environmental factors affect macrophyte diversity on Amazonian aquatic ecosystems inserted in an anthropogenic landscape. *Ecological Indicators*, v. 113, p. 106231, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106231> . Acesso em 22 de outubro de 2024.

“Cici”, o besouro-tigre da Amazônia

Daniela Hoyos Benjumea (UFLA)¹

Letícia Vieira (UFLA)²

Quando pensamos em insetos, o que vem à mente? Imaginamos pequenas criaturas que podem picar ou até causar danos à nossa saúde? Agora, pare um instante e se pergunte: por que temos medo deles? Quem estuda os insetos? O que, afinal, é um besouro-tigre? E qual é o seu papel na natureza? Ou por que devemos protegê-los?

Essas são perguntas que poucas pessoas adultas fazem. Talvez você já tenha pensado nisso quando era criança, curioso para entender o mundo ao seu redor. Mas muitas vezes, em vez de respostas, o que recebíamos eram dúvidas ou, simplesmente, sentíamos medo. Um adulto via um inseto e, sem pensar, o matava.

¹ Sínteses da Biodiversidade Amazônica (SinBiAm), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT). Programa de Pós-graduação em Entomologia, Universidade Federal de Lavras, 37203–202, Lavras, MG, Brazil. Centro de Biodiversidade e Patrimônio Genético, Centro de Sistemática e Biologia de Insetos, Universidade Federal de Lavras, 37203–202, Lavras, MG, Brazil.

² Sínteses da Biodiversidade Amazônica (SinBiAm), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT). Programa de Pós-graduação em Entomologia, Universidade Federal de Lavras, 37203–202, Lavras, MG, Brazil. Centro de Biodiversidade e Patrimônio Genético, Centro de Sistemática e Biologia de Insetos, Universidade Federal de Lavras, 37203–202, Lavras, MG, Brazil. Departamento de Ciências Florestais, Laboratório de Ecologia Florestal, Universidade Federal de Lavras, 37203–202, Lavras, MG, Brazil.

“Ele pode picar!”, diziam. E assim, aprendíamos que insetos eram perigosos.

Mas, e se olharmos para eles de outra forma? Que tal conhecer “Cici”, o besouros-tigre da Amazônia, e descobrir a verdadeira história desse incrível inseto?”

Antes de apresentar formalmente Cici, que tal descobrir um pouco mais sobre sua história e sobre as pessoas que se dedicam a estudá-lo? Quem são elas? O que as motiva?

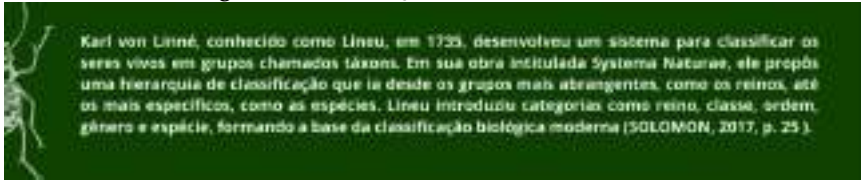
Essas pessoas são cientistas, biólogas e **entomólogas**, especialistas que dedicam seus dias a entender o mundo dos insetos. E, entre tantas espécies fascinantes, elas escolheram justamente Cici. Mas o que exatamente elas fazem?

O trabalho dessas entomólogas envolve pesquisa em **taxonomia** e **sistemática**. Parece complicado? Vamos simplificar. Elas estudam a morfologia dos besouros—ou seja, analisam cada detalhe de seus corpos—para identificá-los corretamente e classificá-los.

Você se lembra das aulas de biologia no ensino médio, quando aprendemos sobre a **classificação dos seres vivos**? Por exemplo, o cachorro que temos em casa pertence ao Domínio Eukarya, Reino Animalia, Classe Mammalia, e assim por diante, até chegar à espécie *Canis lupus familiaris* (Fig. 1). Pois bem, com Cici acontece o mesmo! As entomólogas seguem esse mesmo princípio para dar nomes e organizá-los dentro da **árvore da vida**.



Figura 1: Classificação científica do cachorro.



Essa organização dos seres vivos recebe o nome de taxonomia científica. Para aplicá-la corretamente, os cientistas precisam realizar estudos sistemáticos, analisando e comparando diferentes organismos. No caso das entomólogas que estudam besouros-tigre, a missão delas é classificar esses besouros até identificar exatamente a que espécie pertencem. Mas como elas fazem isso?

Para começar, é essencial conhecer bem a morfologia dos besouros-tigre, ou seja, cada detalhe do corpo. Essas estruturas não apenas possuem nomes específicos, mas também variam em características como cor, tamanho, forma, textura, brilho e até mesmo pequenos padrões, como manchas e listras.

Para entender melhor, pense nos pássaros. Um canário tem um bico pequeno e reto, enquanto um tucano tem um bico grande e curvo (Fig. 2). Essa diferença morfológica faz com que pertençam a espécies distintas. O mesmo acontece com os besouros-tigre, existem muitas variações entre eles, e é justamente isso que as cientistas estudam.

Então, antes de conhecer as diferentes espécies de besouros-tigre, vamos entender melhor a sua morfologia externa.

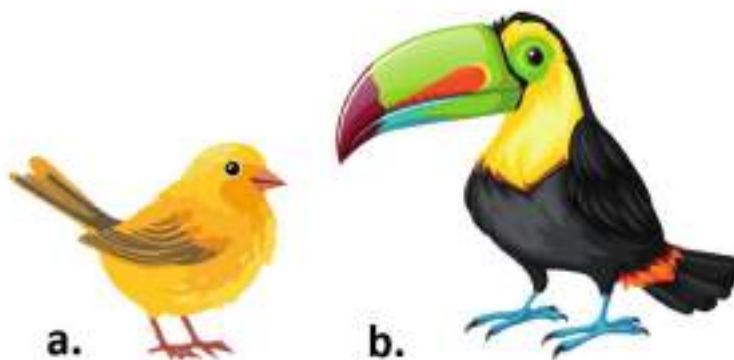


Figura 2: Aves: a. Canário com bico pequeno e reto b. Tucano com bico grande e curvo grosso. Fonte: Canva.

Anatomia dos besouros-tigre

Como todo inseto, os besouros-tigre têm o corpo dividido em três partes: cabeça, tórax e abdômen. Também possui seis pernas, dois pares de asas e antenas (Fig. 3). Até aqui, nada muito diferente, certo? Mas, como ocorre em alguns outros insetos, há exceções. Existem indivíduos com três pares de pernas, como é o caso das borboletas da Família Nymphalidae que tem o primeiro par de pernas reduzido e, outros como os insetos com **características troglomórficas**, apresentam asas reduzidas, características que não são comuns, mas podem ser observadas em algumas espécies.

O que realmente faz os besouros-tigre únicos, são seus olhos grandes, que fazem sua cabeça parecer mais larga do que o tórax; mandíbulas longas e finas, perfeitas para capturar presas; pernas compridas e finas, que garantem velocidade; e distintos padrões de manchas nas asas endurecidas (élitros), que ajudam a diferenciá-lo de outros besouros (Pearson e Vogler, 2001).

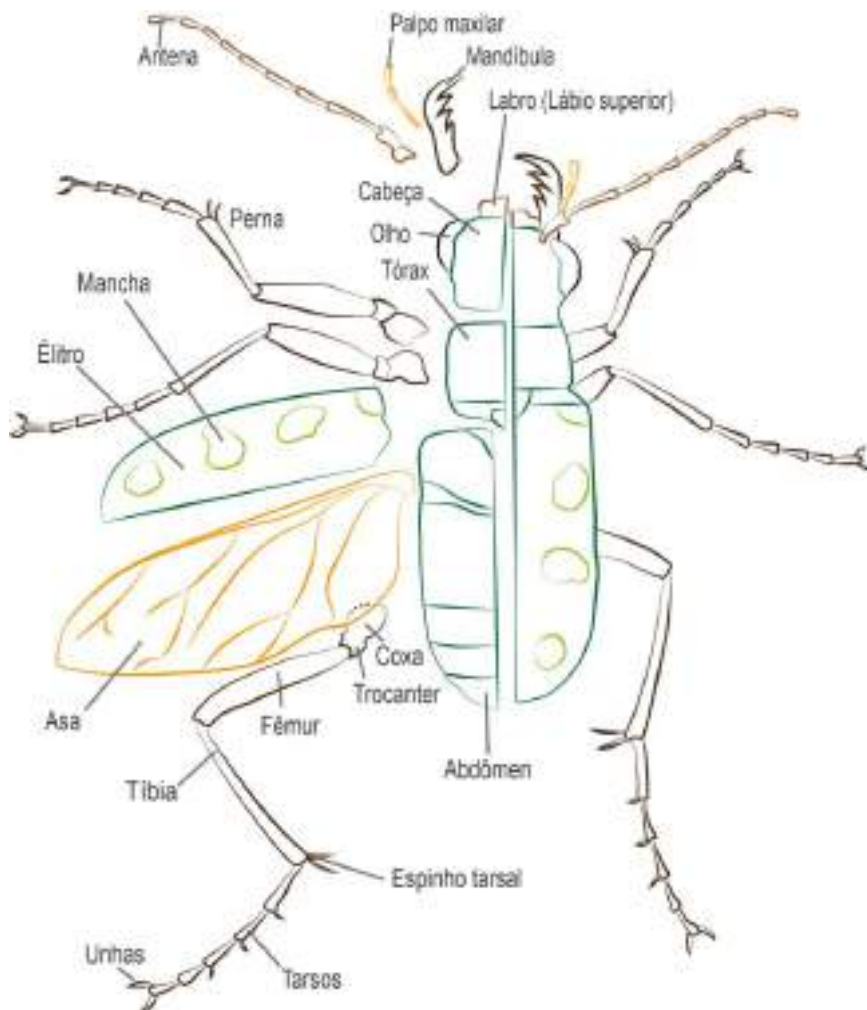


Figura 3. A anatomia do besouro tigre: Adaptação da figura do David Pearson.
 Fonte: <https://askabiologist.asu.edu/anatomia-do-besouro-tigre>

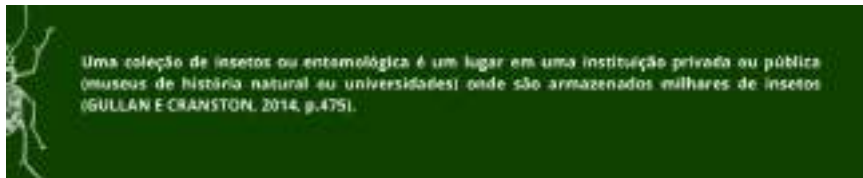
Depois de estudarem e aprenderem sobre a morfologia básica dos besouros-tigre, as entomólogas estão prontas para dar um passo importante, analisar as características específicas de **Cici**, como a forma e a estrutura de cada parte do corpo, e comparar com outras espécies já conhecidas. Assim, elas buscam identificar padrões e semelhanças que ajudem a classificar as diferentes espécies de besouros-tigre corretamente e atribuir suas **categorias**

taxonômicas dentro do reino animal. Esse processo envolve o uso de **chaves dicotômicas**, onde elas vão excluindo opções até chegarem à categoria taxonômica correta. Tudo isso é feito de forma sistemática e precisa, para garantir que cada espécie de besouro-tigre seja colocada no lugar certo, dentro da **árvore da vida**.

Agora, vamos ver como elas realizam esse processo na prática.

Coleções entomológicas

Parte essencial do trabalho dessas entomólogas é visitar coleções de insetos em busca de diversos exemplares de besouros-tigre. Por isso, elas viajaram para visitar as mais importantes da Amazônia. Sim, coleções de insetos! As quais são fundamentais para a pesquisa científica e para que você compreenda melhor, vamos explicar por quê.



Graças às coleções, os (as) cientistas podem identificar a que espécie um inseto pertence e conhecer sua história natural. Além disso, é possível entender melhor a fauna de um país ou de um ecossistema específico, descobrindo se uma espécie é muito rara na natureza ou facilmente encontrada. Aliás, as coleções entomológicas fazem parte do patrimônio de uma nação. Veja só como são importantes!

Bem, e como esses insetos chegaram até as coleções?

No passado, entre os séculos XVIII e XIX, muitos naturalistas, principalmente europeus, viajavam para explorar a

natureza e conhecer a fauna e flora de nosso continente. Eles se aventuravam em expedições a lugares de difícil acesso, como montanhas e florestas intocadas, especialmente naquela época. Durante essas viagens, coletavam **exemplares** de diversas formas de vida, ou seja, plantas, fungos, insetos, aves, mamíferos, peixes e répteis. Após a coleta, preservavam o material coletado e o transportavam para os grandes museus de história natural.

Atualmente, muitos estudos biológicos que envolvem a coleta de insetos precisam, por lei, depositar o material em coleções entomológicas. E é por isso que muitos besouros-tigre permanecem preservados nas coleções, em companhia de muitos outros insetos, muitas vezes por séculos.

Nas coleções científicas, os exemplares são cuidadosamente alfinetados e etiquetados. Essas etiquetas são fundamentais, pois fornecem informações essenciais sobre cada inseto. Sem elas, seria impossível saber sua origem ou identidade. Geralmente, há três etiquetas organizadas embaixo do inseto, de cima para baixo, a primeira é a etiqueta de localidade: a mais importante de todas. Ela indica onde o inseto foi coletado. A segunda é a etiqueta de identidade: contém a classificação taxonômica do inseto. Em alguns casos, traz o nome da espécie; em outros, apenas uma categoria mais ampla, como a ordem. Finalmente, a terceira é a etiqueta de número de tombo: representa o código da coleção, funcionando como um "registro de identidade" para aquele exemplar dentro do acervo científico. Cada uma dessas informações ajuda as entomólogas a estudar e catalogar as diversas espécies de besouros-tigre.

Durante a visita, as entomólogas primeiro separaram os exemplares com etiquetas que tenham como localidade a Amazônia, analisam, organizam e até emprestam exemplares para levá-los ao laboratório. Lá, os besouros-tigre podem ser estudados por anos para determinar a que espécie pertencem. Alguns podem ser de espécies já conhecidas, enquanto outros podem ser espécies ainda desconhecidas para a ciência.

Taxonomia e Classificação dos besouros-tigre

Para determinar a classificação dos besouros-tigre, essas entomólogas passam dias em seu laboratório, consultando livros especializados, como **revisões taxonômicas** e **descrições de espécies** muito antigas, algumas datando da época dos naturalistas. Tudo isso para poder classificá-los corretamente e atribuir-lhes um nome.

– Mas, como elas fazem isso?

Veja, elas pegam um besouro-tigre, colocam sob uma **lupa** e analisam sua estrutura detalhadamente. Para classificá-lo, seguem chaves dicotômicas, um método que permite identificar organismos com base em características sucessivas.

– Chaves dicotômicas? E para que servem? –



Identificar espécies usando chaves dicotômicas é como reconhecer amigos no supermercado. Imagine que sua mãe foi ao mercado e encontrou duas conhecidas, mas não lembrava seus nomes. Ao voltar para casa, ela descreve: "As duas são altas, mas uma tem cabelo curto e loiro, enquanto a outra tem uma tatuagem nas costas." Apenas com essas características, você já consegue distinguir quem é quem, certo? É exatamente assim que funciona a taxonomia de besouros-tigre! As entomólogas analisam diferenças sutis na morfologia—como o formato das mandíbulas, o padrão das asas ou o comprimento das pernas—para classificar e nomear cada espécie corretamente.

Quando elas terminam de classificar um besouro-tigre, elas teriam algo como isso:

Classificação

Reino *Animalia*
Filo *Arthropoda*
Classe *Hexapoda*
Ordem *Coleoptera*
Familia *Cicindelidae*
Subfamilia *Cicindelinae*
Tribu *Cicindelini*
Gênero *Odontocheila*
Subgênero *Odontocheila*
Espécie *Odontocheila cayennensis* *infrasp. femoralis*



Figura 4: Exemplo da classificação de uma espécie de besouro-tigre da Amazônia.

Depois de identificar os nomes científicos de vários besouros-tigre que estavam revisando, elas começaram a reunir informações sobre as diversas localidades dentro da Amazônia, para compilar a lista de espécies de besouros-tigre dentre desse ecossistema.

Conhecendo os besouros-tigre

Dos besouros-tigre podemos falar muitas coisas, mas vamos começar dizendo que no mundo existem mais de 3.000 espécies de besouros-tigre. Parece muito? Pois a cada dia, novas espécies são descritas graças ao trabalho rigoroso dos **taxonomistas**, como as entomólogas.

Mas será que esses besouros-tigre vivem apenas em um lugar do mundo? Na verdade, eles estão espalhados por quase todos os continentes! A única exceção são regiões extremas, como a Antártica, o Ártico Norte, a Tasmânia e algumas ilhas oceânicas, como Havaí e Malvinas. No Brasil, por exemplo, podemos encontrar ao redor de 264 espécies (Pearson e Wiesner, 2023). Além

disso, podem ser encontrados em uma ampla variação de altitudes, que vão de 220 a 3.500 metros acima do nível do mar. Isso significa que esses insetos se adaptam a diferentes ambientes, desde desertos e florestas tropicais até praias e montanhas. Uma verdadeira façanha da natureza!

Você já se perguntou o que os besouros-tigre comem? A resposta é interessante: eles são predadores! Sua dieta inclui invertebrados e pequenos vertebrados (ex. aranhas, insetos, rãs, lagartixas), tornando-os importantes reguladores das populações desses animais. Mas como eles caçam? Besouros-tigre possuem pernas longas e finas, que lhes garantem grande velocidade no solo. Para você ter uma ideia, entre as espécies de besouros-tigre, *Cicindela hudsoni*, encontrada na Austrália, é considerado o besouro mais rápido do mundo! Ele pode correr a quase 9 km/h, cobrindo uma distância equivalente a 171 vezes o comprimento do seu corpo por segundo (Kamoun e Hogenhout, 1996). Com essa agilidade, persegue e captura suas presas com precisão, usando suas mandíbulas longas e afiadas para agarrá-las e mastigá-las.

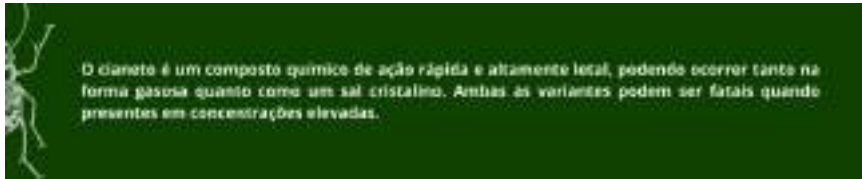
E aqui vai uma curiosidade: as mandíbulas dos besouros-tigre variam de tamanho. Os que possuem mandíbulas menores caçam presas pequenas, enquanto os de mandíbulas maiores capturam presas maiores. Isso permite que diferentes espécies de besouros-tigre convivam no mesmo habitat sem competir diretamente por alimento. Fascinante, não?

Mais uma questão: quem se alimenta de besouros-tigre? Apesar de ser um predador ágil, ele também precisa se proteger. Pássaros, lagartos e até outros insetos, como percevejos e moscas predadoras, estão sempre à procura dele. Mas capturá-lo não é tão fácil quanto parece.

Os besouros-tigre não são presas fáceis e estão cheios de estratégias. Quando um lagarto se aproxima, eles podem voar para escapar. Mas isso tem um risco: no ar, podem ser comidos pelos pássaros ou pelas moscas predadoras. Então, como eles se protegem?

A resposta está em suas incríveis adaptações. Muitos deles têm cores que se camuflam ao solo, tornando-se invisíveis aos inimigos. Outros apresentam diferentes padrões de coloração ou marcas em seu corpo, como linhas ou pontos, que confundem seus predadores, fazendo-os parecer outra coisa.

E há mais! Alguns tem mecanismo químico de defesa: quando capturados, liberam um veneno chamado cianeto, que é liberado pela boca do predador. Combinando velocidade, camuflagem e defesa química, esses insetos mostram que são muito mais do que apenas rápidos—são verdadeiros mestres da sobrevivência.



Besouros-tigre e o excesso de calor

Os besouros-tigre enfrentam muitos desafios, e não são apenas os predadores que representam uma ameaça. Você já parou para pensar em qual temperatura eles precisam viver?

Diferente de nós, que usamos cobertores e casacos para nos aquecer, os besouros-tigre dependem do ambiente para regular sua temperatura corporal. Em dias frios, movem-se rapidamente sob o sol e pelo solo quente para ganhar energia—essencial para caçar, encontrar um parceiro e até escapar de predadores. Mas quando o calor se torna intenso, precisam buscar refúgio na sombra das plantas para não superaquecerem. O problema é que, se o habitat dos besouros-tigre se tornar quente demais e ele não conseguir equilibrar sua temperatura, pode não sobreviver.

Essa sensibilidade às mudanças ambientais faz dos besouros-tigre excelentes **bioindicadores**. Cientistas como **David Pearson e Alfried Vongler** dizem que esses besouros ajudam a

compreender tanto as alterações climáticas quanto a qualidade dos diferentes habitats dentro da Amazônia.



É por isso que os besouros-tigre da Amazônia, são tão importantes para as entomólogas. Pois suas diferentes espécies fornecem informações valiosas sobre o ambiente onde vive.

Mas como sabemos disso?

A resposta vem do trabalho das entomólogas especializadas nesses besouros. Ao estimar o número de espécies de besouros-tigre da Amazônia, elas conseguem mapear a biodiversidade e estimar quais áreas precisam ser preservadas para garantir sua sobrevivência.

As espécies de besouros-tigre não são apenas fascinantes — elas são essenciais para entendermos e protegermos a Amazônia!

Cici, o besouro-tigre da Amazônia

Antes de terminar nossa história, você tem que saber que o nome científico do Cici é *Phaeoxantha klugii* (Fig. 5), e foi descrito há muito tempo, lá em 1850, por um francês chamado Chaudoir. Cici pode alcançar mais de 26 mm de comprimento e é considerado um dos maiores entre os besouros-tigre da Amazônia. E sabe o que é mais interessante? Apesar de o chamarmos de "o besouro-tigre da Amazônia", Cici não vive só no Brasil. Ele também pode ser encontrado na Bolívia, na Colômbia, no Equador, no Peru e na Venezuela. Mas, aqui no Brasil, ele aparece em lugares muito especiais, como nas áreas de areia úmida da nossa Amazônia brasileira.

Foi em Manaus que alguns cientistas muito curiosos decidiram estudar a vida de Cici. Alguns pesquisadores passaram bastante tempo observando e acompanhando o que ele faz. Eles descobriram que Cici gosta de viver nas áreas mais altas das planícies de inundação arenosa, sempre perto do rio Solimões-Amazonas.

Mas o que será que Cici come? As larvas de Cici gostam de se alimentar de grilos e ficam mais ativas durante a noite. Já os adultos, como aquele que vimos antes, são predadores ainda mais versáteis e caçam grilos, aranhas, pequenos insetos voadores como as efemérides (aqueles insetinhos que aparecem perto da água) e, até peixes mortos na beira do rio! Isso mesmo, Cici não desperdiça comida.

Claro, nem tudo é tão fácil para ele. Assim como Cici caça, ele também é caçado. As aves estão sempre atentas! Por isso, além de rápido, Cici precisa ser esperto.

E sabe como funciona a vida dele? Como todo besouro, ele passa por metamorfose completa: primeiro ovo, depois larva, pupa e, só então, adulto (Fig. 6). O desenvolvimento de Cici demora de 9 a 13 meses! As larvas vivem em túneis no solo e passam por três instares — ou estágios — antes de virarem besouros. No último estágio, ficam em dormência, às vezes até a 1 metro de profundidade! Aliás, os pesquisadores descobriram que as larvas moram juntinhas, apresentando um comportamento de agregação.

Quando adultas, são solitárias durante o dia e escondem-se em tocas individuais cavadas na areia. Ao anoitecer, saem correndo pela faixa de areia úmida à beira do rio para caçar.

Agora me diz: não é incrível como um inseto tão pequeno pode ter uma vida tão cheia de detalhes e estratégias? É por isso que os cientistas continuam estudando Cici até hoje, para entender não só o comportamento desse besouro-tigre, mas também o ambiente onde ele vive. Porque, como vimos antes, Cici é muito sensível às mudanças do ambiente e pode nos ajudar a perceber quando alguma coisa não vai bem na Amazônia.



Figura 5: Cici: Espécie *Phaeoxantha klugii* (Chaudoir 1850). Escala: 5mm.

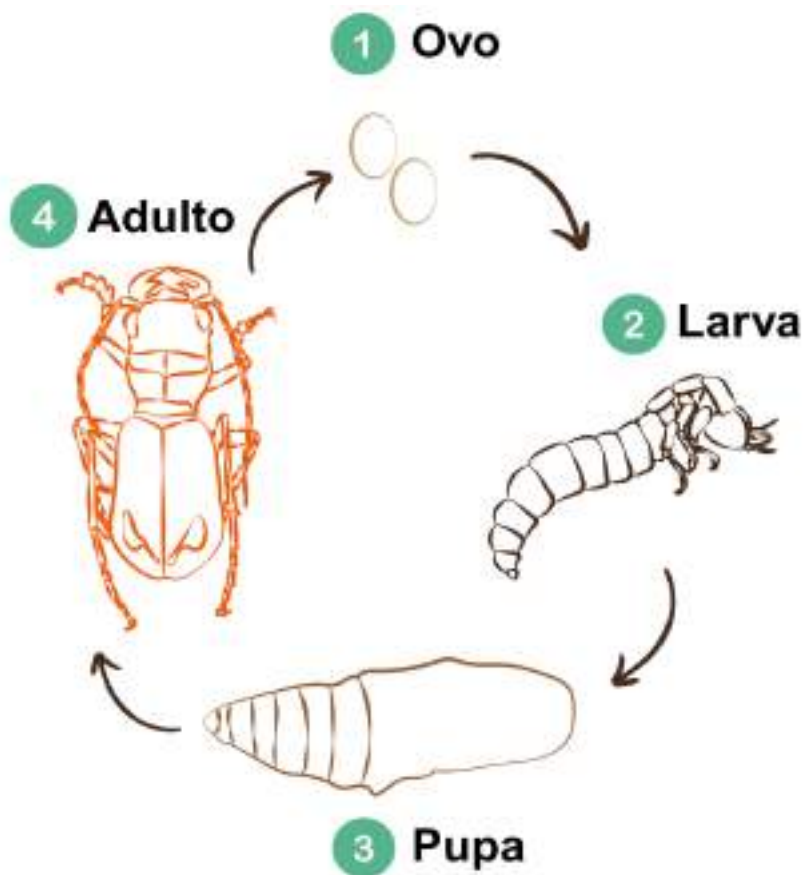


Figura 6: Ciclo de vida do Cici.

Glossário de Termos Científicos

Árvore da vida: Representação gráfica das relações evolutivas entre os organismos, demonstrando sua origem comum e divergência ao longo do tempo.

Bioindicadores: Organismos ou grupos de organismos cuja presença, ausência ou abundância reflete condições ambientais específicas, sendo utilizados para avaliar a qualidade do ambiente.

Categorias taxonômicas: Níveis hierárquicos utilizados na classificação biológica, como reino, filo, classe, ordem, família, gênero e espécie.

Característica troglomórfica: Adaptação morfológica, fisiológica ou comportamental observada em organismos que vivem em ambientes subterrâneos, como olhos reduzidos e perda de pigmentação.

Chaves dicotômicas: Ferramentas utilizadas na identificação de organismos, organizadas em pares de características contrastantes que guiam o usuário até a identificação correta.

Classificação dos seres vivos: Organização dos organismos em grupos hierárquicos com base em características compartilhadas, seguindo princípios da taxonomia e sistemática.

Descrições de espécies: Relatos científicos detalhados que definem as características morfológicas, comportamentais e ecológicas de uma espécie nova para a ciência.

Entomólogos: Cientistas que estudam insetos, abrangendo áreas como taxonomia, ecologia, comportamento e controle biológico.

Exemplares: Indivíduos coletados e preservados para estudo científico, geralmente depositados em coleções biológicas para referência e pesquisa.

Metamorfoses: No contexto biológico, especialmente em insetos, o termo se refere às mudanças pelas quais o corpo do animal passa desde ovo até a fase adulta. Existem dois tipos principais: **Metamorfose incompleta (ou hemimetábola):** o inseto nasce em forma de ninfa, semelhante ao adulto, mas sem asas e órgãos reprodutivos desenvolvidos. Ex: gafanhotos, baratas. **Metamorfose completa (ou holometábola):** o inseto passa por quatro estágios distintos — ovo, larva, pupa e adulto. Ex: borboletas, moscas, besouros.

Lupa: Instrumento óptico utilizado para ampliar imagens, facilitando a observação de pequenos detalhes morfológicos, especialmente em estudos taxonômicos.

Revisões taxonômicas: Estudos que reavaliam a classificação de um grupo de organismos, considerando novas informações e técnicas para atualizar sua taxonomia.

Sistemática: Área da biologia que investiga as relações evolutivas entre os organismos, contribuindo para sua classificação e nomenclatura.

Taxonomia: Ciência que descreve, nomeia e classifica os organismos, estabelecendo regras para a organização dos seres vivos.

Taxonomistas: Especialistas em taxonomia, responsáveis por descrever e classificar organismos, além de revisar e atualizar a nomenclatura biológica.

Referências

Adis, J.; Paarmann, W.; Amorim, M. A.; Arndt, E.; FONSECA, C. R. D. On occurrence, habitat specificity and natural history of adult tiger beetles (Coleoptera: Carabidae: Cicindelinae) near Manaus, Central Amazonia, and key to the larvae of tiger beetle genera. *Acta Amazonica*, v. 28, n. 3, p. 247-247, 1998.

ADIS, J.; JUNK, Wolfgang, J. Terrestrial invertebrates inhabiting lowland river floodplains of Central Amazonia and Central Europe: a review. *Freshwater Biology*, v. 47, n. 4, p. 711-731, 2002.

KAMOUN, S.; HOGENHOUT, S. Flightlessness and rapid terrestrial locomotion in tiger beetles of the *Cicindela* L. subgenus *Rivacindela* van Nidek from saline habitats of Australia (Coleoptera: Cicindelidae). *The Coleopterists' Bulletin*, p. 221-230, 1996.

MORAVEC, J.; BRZOSKA, D. Taxonomic and nomenclatorial revision within the Neotropical genera of the subtribe *Odontocheilina* W. Horn in a new sense α 12. *Odontocheila angelsolisi* sp. nov., *O. mirekskrabali* sp. nov. and related species of a newly proposed *Odontocheila cajennensis* species-group (Coleoptera: Cicindelidae). *Acta Musei Moraviae, Scientiae biologicae (Brno)*, v. 100, n. 1, p. 23-66, 2015.

NICHOLS, E. et al. Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation: A quantitative literature review and meta-analysis. *Biological Conservation*, v. 137, p. 1-19, 2007.

PEARSON, DAVID L.; VOGLER, ALFRIED P. *Tiger beetles: the evolution, ecology, and diversity of the cicindelids*. Cornell University Press, 2001.

PEARSON, N.; PEARSON, D. Tough, tiny tiger beetles. ASU - Ask A Biologist, 18 ago. 2014. Disponível em: <https://askabiologist.asu.edu/explore/tiger-beetles>. Acesso em: 8 mai. 2024.

PERSON, D.; WIESNER, J. The use of tiger beetles (Coleoptera: Cicindelidae) in adapting hotspot conservation to global, regional, and local scales. *Journal of Insect Conservation*, v. 27, p.19-48, 2023.

ZERM, Matthias.; ADIS, J. Further observations on the natural history and survival strategies of riverine tiger beetles (Coleoptera: Cicindelidae) from open habitats in Central Amazonian floodplains (Brazil), v. 7, p. 115-137, 2001.

Formigas-Zumbis na floresta Amazônica: Como o *Ophiocordyceps* transforma formigas em instrumentos de sua sobrevivência

Maria Eduarda Domingues Góes¹
Yana Bárbara da Silva Teixeira (INCT)²
Fabricio Beggiato Baccaro (UFAM)³
Ettore Paredes Antunes (UFSCar)⁴

A Floresta Amazônica, um dos ecossistemas mais biodiversos do planeta, esconde histórias fascinantes que remontam a milhões de anos. Entre as complexas teias de relações ecológicas que lá existem, os fungos parasitários desempenham um papel singular e essencial. Esses micro-organismos, capazes de manipular seus hospedeiros de maneiras impressionantes, têm intrigado cientistas e impulsionado descobertas sobre o equilíbrio da natureza.

No decorrer da história, o conceito de parasitismo foi amplamente utilizado nas artes, literatura e em diversas linguagens

¹ Estudante UFSCar.

² Mestre em Ensino de Ciências e Matemática pela UFAM e bolsista de extensão do INCT SinBiAm.

³ Docente UFAM.

⁴ Professor Adjunto na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar); Laboratório de Ensino e Aprendizagem de Química (LENAQ).

como uma metáfora de dependência, em que apenas uma das partes acaba beneficiada. Entretanto, do ponto de vista biológico, o parasitismo é uma estratégia evolutiva altamente sofisticada, que permite a sobrevivência de inúmeras espécies em diferentes ambientes. Estima-se que metade dos organismos vivos conhecidos sejam parasitas, sendo assim apontamos uma relação muito comum e bem sucedida perto do que se imagina.

Entre esses parasitas, um dos mais intrigantes é o gênero *Ophiocordyceps*, famoso por sua capacidade de modificar o comportamento de formigas hospedeiras de forma quase cinematográfica. Esses fungos forçam as formigas a abandonarem suas rotas habituais e a se fixarem em locais estratégicos, onde, após a morte do inseto, os esporos do fungo se desenvolvem e se espalham pelo ambiente. Esse mecanismo de manipulação desperta a curiosidade científica; vamos explorar como essa relação parasita-hospedeiro funciona e por que ela é tão importante para a ciência.

Vegetação da Amazônia: a incrível engenharia natural por trás de sua vegetação

*"Moro
Num país tropical
Abençoado por Deus
E bonito por natureza, mas que beleza [...]"
País tropical – Canção de Jorge Ben Jor - 1969*



Figura 1: Bioma Floresta Amazônica
Fonte: Planeta Biologia (2021)

O Bioma Amazônia possui uma vegetação densa em seu interior com diversas espécies de plantas, árvores e palmeiras que ajudam a manter o equilíbrio ecológico entre os animais que ali vivem, possibilitando vantagens ou desvantagens reprodutivas para os parasitas e seus hospedeiros. Dentre essas opções vamos retratar mais detalhadamente sobre as palmeiras.

As palmeiras são um dos grupos de plantas mais abundantes e importantes da Floresta Amazônica, desempenhando um papel essencial no equilíbrio ecológico. Com mais de 500 espécies registradas na América do Sul, elas estão entre os grupos de plantas mais abundantes nas florestas tropicais. Além de sua função na manutenção da biodiversidade, as palmeiras fornecem

frutos ao longo de todo o ano, tornando-se uma fonte essencial de alimento para diversos animais, como insetos, aves e mamíferos.

Mas como determinar onde e de que forma essas palmeiras crescem na floresta? A Amazônia não é um ambiente homogêneo, existem variações na quantidade de luz, na umidade, na composição do solo e até na estrutura da vegetação. Algumas palmeiras se adaptam ao dossel, a parte mais alta da floresta, onde há mais luz e maior exposição ao vento. Outras preferem o sub-bosque, uma região mais sombreada e úmida, com menor circulação de ar. Essa diversidade de condições ambientais influencia diretamente o crescimento, a reprodução e a distribuição dessas espécies ao longo da floresta.

Entre as espécies mais representativas de palmeiras da região amazônica, destacam-se as do gênero *Attalea* e a espécie *Euterpe catinga*. As palmeiras do gênero *Attalea* são robustas com cachos sustentados por hastes de 70-90 cm de comprimento entre as folhas, sua altura varia de 10-30 m e produzem frutos oleaginosos, sendo fundamentais na alimentação de diversos animais. Seus frutos também contribuem para a dispersão de sementes, ajudando na regeneração da floresta. Já a *Euterpe catinga*, encontrada em áreas de terra firme e solos bem drenados, é conhecida por sua adaptação a ambientes menos úmidos, com altura entre 5-16 m, suas folhas possuem aproximadamente 3 m e o seu pêndulo 6-9 cm de comprimento desempenhando papel essencial no fornecimento de alimento e abrigo para insetos e outros pequenos organismos. Ambas as espécies contribuem significativamente para a estrutura do sub-bosque, criando micro ambientes ideais para diversas interações ecológicas, inclusive entre parasitas e seus hospedeiros.



Figura 2: *Attalea Speciosa*

Fonte: Wikipedia foto de Nicolas Caballero Rau (2010)



Figura 3: *Euterpe Catinga*

Fonte: Palmpedia foto de Jack e Lindsey Sayers (2012)



Figura 4: Euterpe Catinga mais jovem.

Fonte: Agaveville - Xeric Plant Discussion Forum

Sub-bosque: O sub-bosque (ou estrato arbóreo inferior) é a camada da vegetação que fica abaixo do dossel, ou seja, abaixo da copa das árvores mais altas. É considerada uma região mais escura, úmida e com menor circulação de ar, pois a luz solar é bloqueada pelas copas das árvores. Nesse ambiente crescem plantas de menor porte, como arbustos, palmeiras menores, mudas de árvores e plantas adaptadas à pouca luz. Além disso, o sub-bosque abriga uma grande diversidade de animais, como insetos, anfíbios, répteis e pequenos mamíferos.



No entanto, nem todas as interações ecológicas são benéficas. No sub-bosque úmido da floresta, onde muitas palmeiras crescem, também se desenrola um fenômeno fascinante e sombrio: a ação do fungo *Ophiocordyceps unilateralis*. Esse parasita ataca especificamente formigas do gênero *Camponotus*, manipulando seu comportamento de forma extremamente precisa, capaz de transformar as formigas em verdadeiros zumbis. Após a infecção, a formiga é levada a escalar a vegetação e se fixar em locais com condições ideais para o desenvolvimento do fungo. Um detalhe importante é que essas formigas geralmente mordem folhas caídas das palmeiras, que, por sua vez, possuem longa durabilidade no solo. Essa característica reduz a perda dos cadáveres hospedeiros, permitindo que o fungo complete seu ciclo e aumente a eficiência na dispersão dos esporos. Assim, até mesmo a anatomia e a resistência das folhas das palmeiras contribuem

indiretamente para o sucesso reprodutivo do parasita. Esse exemplo impressionante de parasitismo mostra como até organismos microscópicos podem influenciar o comportamento animal e a dinâmica ecológica na floresta, muitas vezes utilizando as plantas como palco para seus ciclos de vida.

Ciclo de vida do fungo

Imagine, como nos filmes de terror, um organismo infectado por um parasita que toma o controle de seu corpo. Os movimentos tornam-se lentos, o corpo começa a apresentar feridas crescentes, e a maneira de andar já não é mais a mesma. É perceptível que algo está errado, aquele corpo abriga algo estranho, que guia seus sentidos, suas ações, suas decisões. Ele se distancia dos seus semelhantes e passa a vagar sem rumo pela floresta.

Mas como esse parasita chegou até o seu hospedeiro? Será que esse corpo foi escolhido? Ou o invasor sempre esteve ali, escondido, se desenvolvendo até o momento certo para atacar sua próxima vítima?

06. OPHIOCORDYCEPS UNILATERALIS



Figura 6: Ilustração de uma formiga na fase final do fungo *Ophiocordyceps Unilateralis*.

Fonte: Pinterest - Liz Anderson

VOCÊ SABIA QUE...

Você sabia que um jogo acabou se tornando uma série, *The Last of Us*, foi inspirado em um fungo real?

Na trama, um fungo mutante do gênero *Cordyceps* infecta humanos, transforma-os em criaturas agressivas e leva a um

colapso da civilização. Embora a história seja fictícia, sua base é científica.

O fungo retratado é inspirado no gênero *Ophiocordyceps*, que realmente existe na natureza e infecta principalmente formigas. Na vida real, esse fungo parasita ataca formigas do gênero *Camponotus*, transformando-as em verdadeiras “formigas-zumbis”. Ao invadir o corpo do inseto, o fungo se espalha internamente até alcançar o cérebro, alterando o comportamento da formiga e forçando-a a subir até locais elevados, comportamento que favorece a dispersão dos esporos. Após a morte do hospedeiro, o fungo cresce para fora do corpo, emergindo especialmente pela cabeça, formando uma estrutura alongada que libera esporos no ambiente e infecta novas formigas. Essa característica visual impressionante foi diretamente adaptada na ficção, como na série e no jogo *The Last of Us*, onde infectados apresentam deformações grotescas na cabeça devido ao crescimento do fungo, criando uma estética marcante de horror biológico em um mundo pós-apocalíptico.



Figura 7: Zumbis da série ‘The Last of Us’

Fonte: Ciência Nerd - Lucas Miranda

O ciclo de vida do fungo *Ophiocordyceps unilateralis* é uma das manifestações mais fascinantes de adaptação evolutiva e controle parasitário da natureza. Esse fungo entomopatogênico, ou seja, que infecta insetos, é amplamente conhecido por sua habilidade de transformar formigas em instrumentos de sua própria reprodução. Sua especialização no gênero *Camponotus*, um dos mais comuns em florestas tropicais, revela uma relação de coevolução complexa entre parasita e hospedeiro.

Tudo começa com a liberação de esporos pelo fungo maduro, que emergiu do corpo de uma formiga anteriormente infectada. Esses esporos são dispersos pelo ar e, ao entrarem em contato com o corpo de uma nova formiga, aderem à cutícula externa, exoesqueleto, do inseto. O fungo, então, secreta enzimas capazes de degradar essa barreira protetora e, aos poucos, penetra no interior do corpo da formiga.



Figura 8: *Camponotus atriceps* (infestado por *O. unilateralis* s.l.) mordendo a nervura central da folha. As setas brancas indicam as mandíbulas das formigas.
 Fonte: Fotografias de S. P. de Lima.

Uma vez dentro do hospedeiro, o fungo inicia uma fase de crescimento vegetativo. Ele desenvolve uma rede de filamentos microscópicos, o micélio, que se espalha pelos tecidos internos da formiga, absorvendo nutrientes e se multiplicando lentamente. Durante essa fase, o fungo evita a morte do inseto para não

interromper seu ciclo. Seu desenvolvimento é silencioso e estratégico, manipulando o metabolismo da formiga sem causar reações aparentes. Conforme o fungo se aproxima da maturidade, ele entra na fase de manipulação comportamental. Através da liberação de compostos neuroativos, ele altera o comportamento da formiga, induzindo-a a abandonar sua rotina habitual e a se deslocar até um local com microclima favorável, geralmente uma folha ou galho em áreas úmidas, sombreadas e com temperatura estável, típicas do sub-bosque das florestas tropicais.

Ali, a formiga realiza a chamada “mordida da morte”, fixando suas mandíbulas firmemente ao substrato. A partir desse momento, o fungo consome os tecidos restantes do hospedeiro, levando-o à morte. Dias depois, o fungo rompe a cutícula da formiga e desenvolve uma estrutura reprodutiva especializada: o estroma. Essa haste fúngica, que geralmente emerge da cabeça ou pescoço da formiga, libera novos esporos para o ambiente, reiniciando o ciclo.

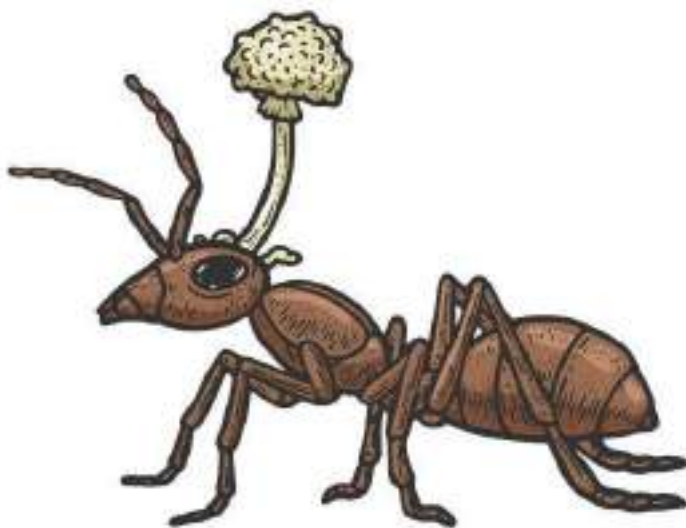


Figura 9: Ilustração estrutura reprodutiva do fungo.

Fonte: Brasil Escola - Vanessa Sardinha dos Santos.

Comportamento das formigas infectadas

FORMIGAS DO GÊNERO CAMPONOTUS

As formigas do gênero *Camponotus*, conhecidas popularmente como formigas-carpinteiras, pertencem à subfamília Formicinae e estão entre as maiores formigas que ocorrem em ambientes tropicais e temperados. Este gênero é extremamente diverso, com mais de mil espécies descritas mundialmente, ocupando uma variedade de habitats, desde florestas úmidas até áreas urbanas.

As *Camponotus* são facilmente reconhecidas por seu grande porte, podem chegar até 20mm, com mandíbulas fortes e sua coloração varia entre preto, castanho e vermelho. As castas são bem definidas, como menores e soldados com cabeças maiores, proporcional ao corpo.

Essas formigas constroem ninhos principalmente em madeira morta, caules de plantas ou frestas de árvores, escavando túneis com suas mandíbulas robustas surgindo o nome de “carpinteiras”. Sua alimentação é diversificada e inclui néctar, secreções açucaradas de insetos como pulgões e até presas mortas.

Curiosidades sobre as formigas *Camponotus*:

- Algumas espécies possuem uma casta especializada de soldados com cabeças grandes que atuam como "portas vivas" para bloquear entradas do ninho.
- Podem emitir feromônios de alarme que alertam toda a colônia para possíveis ameaças.
- Em áreas urbanas, podem tornar-se pragas domésticas, escavando móveis e estruturas de madeira.

- Sua expectativa de vida varia conforme a casta: as rainhas vivem vários anos, enquanto operárias vivem de meses a cerca de um ano.



Figura 10: Formiga - Carpinteira adulta.

Fonte: Freepik - Foto Premium

O comportamento das formigas infectadas pelo *Ophiocordyceps unilateralis* é um dos fenômenos mais intrigantes observados na natureza. No início da infecção, a formiga continua suas atividades cotidianas, como forrageamento, cuidado com as larvas e manutenção do ninho. Durante esse estágio, ela não demonstra nenhum sinal evidente da presença do fungo, que cresce internamente sem interferir no comportamento da hospedeira. Essa fase pode durar vários dias, e é fundamental para que o parasita se estabeleça e prepare a manipulação comportamental que virá a seguir.

À medida que o fungo amadurece dentro do corpo do inseto, ele começa a interferir diretamente em seu sistema nervoso central. As formigas passam a agir de forma incomum e exibem comportamentos atípicos, como andar em círculos, subir em

vegetações sem motivo aparente e isolar-se da colônia. Esse comportamento errático não é apenas uma consequência da infecção, mas parte essencial do processo de manipulação, em que o fungo guia a formiga até um ambiente específico, com características ideais à sua reprodução.

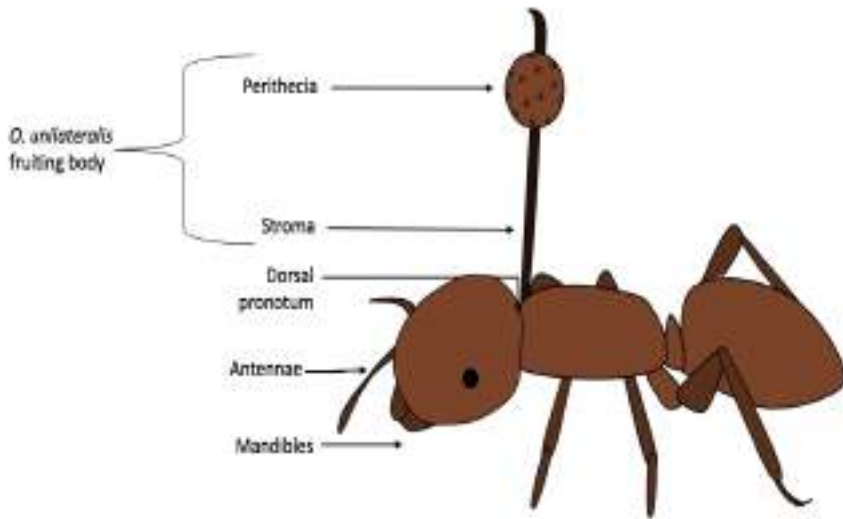


Figura 11: Representação esquemática do crescimento do fungo em uma formiga hospedeira.

Fonte: Wikipedia.

A "mordida da morte" é o auge desse processo. Ao chegar ao local adequado, geralmente em folhas de palmeiras, galhos ou ramos expostos, fixa suas mandíbulas com força, garantindo que permanecerá presa mesmo após sua morte. Curiosamente, a escolha do local e da altura não é aleatória. Estudos mostram que o fungo manipula com precisão o comportamento da formiga para maximizar suas chances de sucesso reprodutivo. Fatores como umidade, temperatura, circulação de ar e posição da folha influenciam diretamente na eficácia da dispersão dos esporos que serão liberados.



Figura 12: Camponotus Atriceps infectada e mordendo a região terminal de uma folha de palmeira.

Fonte: Artigo - Head-bitten zombies: can predation pressure influence zombie ants to climb before dying?

Após a morte da formiga, o fungo utiliza seu corpo como estrutura de sustentação. O estroma que emerge da cabeça pode crescer por vários dias, desenvolvendo internamente as estruturas necessárias para a produção de esporos. Uma vez liberados, esses esporos infectam novas formigas, perpetuando o ciclo.

O fenômeno da “formiga-zumbi” é mais do que uma curiosidade biológica: é um exemplo extraordinário de como um organismo pode explorar as estruturas e os comportamentos de outro para garantir sua sobrevivência. A manipulação do comportamento de um animal complexo como a formiga revela o nível de sofisticação evolutiva do *Ophiocordyceps*, e levanta questões fundamentais sobre os limites entre autonomia biológica e controle parasitário.



Figura 13: Formigas mortas infectadas com *O. Unilateralis*.
Fonte: Wikipedia - David P. Hugles

VOCÊ SABIA QUE...

Outros gêneros de formigas também podem ser infectados por fungos semelhantes, como:

- *Paraponera clavata*: infectada por *O. kniphofioides* s.l.
- *Neoponera crenata*: infectada por *O. australis* s.l.
- *Cephalotes atratus*: associada a infecções em musgos e troncos

Importância ecológica desse parasitismo

O parasitismo do *Ophiocordyceps unilateralis* desempenha um papel ecológico fundamental, regulando as populações de formigas e contribuindo para a manutenção do equilíbrio dentro da complexa teia alimentar da floresta. Embora a relação parasita-hospedeiro seja fatal para as formigas individuais, o fungo exerce uma função natural de controle de populações. Em grandes colônias de formigas, o parasita age como um regulador biológico, impedindo que uma única espécie de formiga se torne dominante, o que poderia levar à superexploração de recursos e ao desequilíbrio do ecossistema local. Além disso, o parasita ajuda a preservar a biodiversidade, evitando que uma única espécie de formiga predadora se sobreponha a outras, permitindo que diferentes níveis da cadeia alimentar se mantenham estáveis.

Cadeia alimentar: é a sequência de seres vivos em que um serve de alimento para o outro, mostrando o caminho que a energia percorre na natureza.

Teia alimentar: é um conjunto de cadeias alimentares interligadas, mostrando como diferentes seres vivos se alimentam de vários outros ao mesmo tempo, formando uma rede de relações.

O comportamento da formiga infectada, que busca se isolar nas folhas do sub-bosque antes de morrer, também desempenha um papel importante na dispersão de esporos. Ao selecionar cuidadosamente locais como folhas de palmeiras, a formiga cria um ambiente favorável para o crescimento do fungo e, por consequência, facilita a dispersão dos esporos em uma área ampla. Isso significa que o fungo consegue se espalhar mais eficientemente, atingindo novas formigas e perpetuando seu ciclo de vida. Nesse processo, ele contribui para a dinâmica da floresta, funcionando como um elo entre as espécies de plantas, como as palmeiras, e os insectos, ao mesmo tempo que mantém o equilíbrio populacional das formigas.

Por fim, o *Ophiocordyceps unilateralis* não apenas regula as populações de formigas, mas também impacta a decomposição da matéria orgânica. As formigas são agentes importantes de decomposição e de dispersão de sementes, e a morte das formigas infectadas permite a reciclagem de nutrientes no solo. Esse processo indireto beneficia toda a comunidade biológica da floresta, já que a decomposição é crucial para a renovação do solo e o crescimento de novas plantas. Em suma, o *Ophiocordyceps* não é apenas um parasita; ele é um elo vital em uma rede ecológica intrincada que mantém o equilíbrio da Amazônia.

Aplicações científicas

Estudar o comportamento das chamadas “formigas zumbis” pode parecer coisa de ficção científica, mas é um exemplo

real e fascinante de como a natureza abriga relações complexas e surpreendentes entre organismos. A interação entre formigas do gênero *Camponotus* e o fungo parasita *Ophiocordyceps* não é apenas uma curiosidade biológica, mas também uma porta de entrada para importantes descobertas científicas.

Pesquisas sobre esse fenômeno ajudam cientistas a entender como os parasitas manipulam o comportamento de seus hospedeiros, uma questão essencial para áreas como a ecologia, a neurobiologia e a evolução. Além disso, os fungos entomopatogênicos, como o *Ophiocordyceps*, vêm sendo estudados como potenciais agentes de controle biológico, oferecendo alternativas naturais e menos agressivas aos agrotóxicos no combate a pragas agrícolas. Também há grande interesse na investigação de substâncias químicas produzidas por esses fungos, que podem ter aplicações futuras na medicina ou na biotecnologia. Cada descoberta abre novos caminhos e reforça o valor da pesquisa científica de base.

Divulgar esse tipo de conhecimento ao público é essencial. A ciência não deve ficar restrita aos laboratórios e artigos acadêmicos precisa ser compartilhada, compreendida e valorizada pela sociedade. Quando tornamos acessível o que acontece no mundo invisível dos fungos e insetos, despertamos a curiosidade, incentivamos a educação científica e inspiramos novas gerações a explorar os mistérios da natureza.

"É nas universidades, por meio da pesquisa científica, que a curiosidade se transforma em conhecimento e o conhecimento transforma o mundo."



Referências

ANDRIOLLI, Fabrizio B. With the dead under the mat: the zombie ant extended phenotype in an indigenous context. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2024.

ASSUNÇÃO, Carla L.; MORAES, Gabriel M.; RIBEIRO, Ingridy S. Relato de experiência de prática como componente curricular: Os zumbis da natureza – fungo parasita. Muzambinho: IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho, 2022.

Attalea Speciosa. Horto Botânico, 2017. Disponível em: [https://
www.museunacional.ufrj.br/hortobotanico/Palmeiras/attaleaspeci
osa.html](https://www.museunacional.ufrj.br/hortobotanico/Palmeiras/attaleaspeci
osa.html).

BUENO, Odair Corrêa. Formigas na área urbana. *Biológico*, São Paulo, v. 65, n. 1/2, p. 93–94, jan./dez. 2003. Disponível em: [https://biologico.agricultura.sp.gov.br/uploads/docs/bio/v65_1_2/
bueno.pdf](https://biologico.agricultura.sp.gov.br/uploads/docs/bio/v65_1_2/bueno.pdf). Acesso em: 13 de Março de 2025.

CARVALHO, João Lucas Vitório Ribeiro. Utilização de fungos do complexo *Ophiocordyceps unilateralis* como agente de controle biológico de formigas da tribo Camponotini. 2019. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Instituto de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2019. Disponível em: [https://repositorio.unilab.edu.br/jspui/
handle/123456789/3567](https://repositorio.unilab.edu.br/jspui/handle/123456789/3567). Acesso em: 30 Abril 2025.

Jorge Ben Jor. Pais Tropical. Brasil: Philips Records. 1969. Disponível em: [https://youtu.be/JzByVhWju88?si=OwJvlsppaE
_NrYaa](https://youtu.be/JzByVhWju88?si=OwJvlsppaE_NrYaa). Acesso em 4 Fevereiro. 2025.

MARCOLINO, Marcus Teixeira. Estudos genéticos e comportamentais de formigas carpinteiras *Camponotus atriceps* Smith (Hymenoptera, Formicidae). 2011. 94 f. Dissertação (Mestrado em Genética) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011. Disponível em: [https://repositorio.ufu.br/
handle/123456789/31096](https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/31096). Acesso em: 5 Abril 2025.

RAUPP, Stela Valenti. Distribuição, abundância e fenologia reprodutiva de palmeiras em uma floresta de terra firme da Amazônia Central. Doutorado - ECO, Manaus - AM, p. (1 - 84), Junho, 2010. Disponível em: [https://repositorio.inpa.gov.br/h
andle/1/12208](https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/12208). Acesso em: 4 de Fevereiro de 2025

RICHARDS, P. W. The tropical rain forest: an ecological study. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

Vianna, S.A. Euterpe in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB34036>>. Acesso em: 25 abr. 2025.

A água sob nossos pés: como o lençol freático molda a floresta

Lorena Oliveira de Sousa (USP)¹

Juliana Schietti (UFAM)²

Leandro Juen (UFPA)³

As secas e cheias na Amazônia estão diretamente relacionadas à dinâmica do **lençol freático (LF)**, um componente fundamental do ciclo hidrológico que, apesar de sua importância, costuma receber pouca atenção. Esse reservatório subterrâneo de água pode abastecer as raízes das árvores e influenciar a umidade no solo superficial, desempenhando papel crucial na formação das chuvas e na manutenção do equilíbrio climático. Uma pesquisa recente com cientistas brasileiros - Figura 1, revelou que florestas da Amazônia com lençóis freáticos rasos (menos de cinco metros de profundidade) podem ser surpreendentemente resilientes a secas moderadas, desafiando a visão equivocada de que todas as florestas tropicais são igualmente vulneráveis às mudanças climáticas ou que apresentam um volume uniforme em todos os biomas (COSTA; SCHIETTI; STARK; SMITH, 2023).

¹Pós-doutoranda, Laboratório de Investigações em Ensino de Ciências Naturais (Linecin - IQSC/USP).

² Docente UFAM.

³ Professor do Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Universidade Federal do Pará (UFPA); Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO).).

*Tansley review*

The other side of tropical forest drought: do shallow water table regions of Amazonia act as large-scale hydrological refugia from drought?

Author for correspondence:
Flávia R.C. Costa
Email: flaviacosta00@gmail.com

Flávia R. C. Costa¹, Juliana Schimdt², Scott C. Stark³ and
Marielle N. Strieth¹

¹Coordenação de Pós-graduação (Ecologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astrônomos 177, São José do Barro, 13.083-970, Brazil; ²Departamento de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Maracanã, 21.945-900, Brazil; ³Department of Forestry, Michigan State University, East Lansing, MI 48824, USA

Received: 30 July 2021

Accepted: 5 October 2021

Figura 1: recorte da publicação científica, título em português - O outro lado da seca nas florestas tropicais: as regiões com lençol freático raso da Amazônia atuam como refúgios hidrológicos em larga escala contra a seca?

Neste capítulo, vamos para além do que vemos nos livros didáticos para entender como o LF influencia, silenciosamente, a resiliência das florestas tropicais. Ao mergulhar na interação entre: profundidade, disponibilidade de água no solo e o funcionamento biológico das árvores, revelamos uma dimensão ainda pouco explorada, mas muito importante, frente às mudanças climáticas. Com a intensificação de eventos climáticos extremos como secas prolongadas e chuvas intensas, compreender essa camada subterrânea torna-se fundamental para prever não somente o futuro da Amazônia, mas de todos os biomas brasileiros.

Antes de conhecer melhor o lençol freático e como ele molda a floresta, é fundamental entendermos o papel das florestas no ciclo hidrológico. As florestas são elementos naturais fundamentais para geração de chuvas, pois as árvores, e na verdade todas as plantas, captam água do solo e transportam essa água para a atmosfera, através da transpiração. Quando a água do solo chega nas folhas, ela é lançada no ar em forma de vapor de água, juntamente com alguns compostos químicos voláteis que as próprias plantas produzem. O vapor de água transpirado pelas folhas e esses compostos químicos orgânicos das plantas são

fundamentais para formar as nuvens que geram as chuvas. A água subterrânea pode então ser uma fonte importante de chuva, e como a natureza é complexa, veremos que essa interação entre o solo, as plantas e a atmosfera podem assumir diferentes formas na Amazônia.

Os lençóis freáticos são todos iguais?

Para responder a pergunta acima, observe o mapa da Figura 2 e o gráfico da Figura 3:

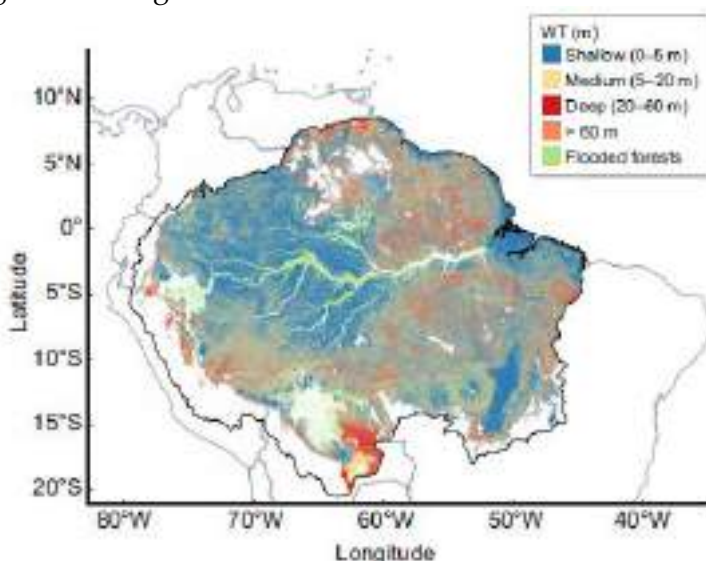


Figura 2: Distribuição do LF na Amazônia da área da bacia amazônica em cinco classes: **raso** < 5 m (azul), **médio** 5-20 m (amarelo), **profundo** 21-60 m (vermelha), **> 60m** (laranja) e **florestas de várzea ou inundadas** (verde). Gráfico elaborado por Costa e colaboradores (2023).

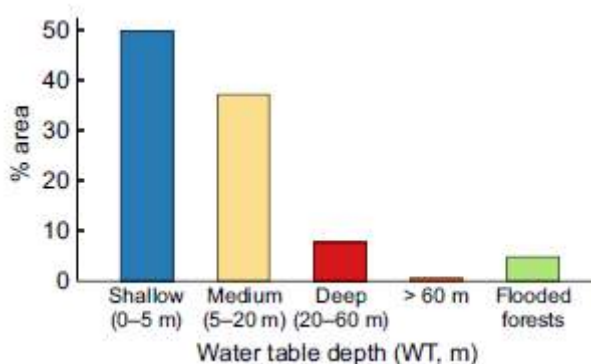


Figura 3: Distribuição do LF na Amazônia com a porcentagem da área da bacia amazônica em cinco classes: **raso** (< 5 m, azul, 49,9%), **médio** (5–20 m, amarela, 37,2%), **profundo** (21–60 m, vermelha, 7,7%), **> 60m** (laranja, 0,5%) e **florestas de várzea** (verde, 4,8%). Gráfico elaborado por Costa e colaboradores (2023).

Observando as Figuras anteriores, percebemos que o LF não é uniforme em toda região amazônica e pode estar em diferentes profundidades, o que influencia diretamente a disponibilidade de água para as plantas. Podemos classificá-lo em três tipos:

- **Lençol Freático Raso (LFR):** ocorre em áreas onde **o solo tem menos de cinco metros de profundidade**. Nesses locais, como em terras baixas ou vales, as raízes das plantas geralmente alcançam facilmente a água subterrânea ou a chamada *franja capilar* (Figura 4), uma zona onde a água sobe por capilaridade a partir do lençol freático. Isso garante um abastecimento constante de água, mesmo em períodos de seca.

- **Lençol Freático Intermediário (LFI):** encontrado em regiões **com solos entre 5 e 20 metros de profundidade**, como encostas ou terraços fluviais. Nesses locais, a água subterrânea pode ser acessada pelas raízes em determinadas épocas do ano, especialmente na estação chuvosa, o que oferece suporte hídrico moderado.

- **Lençol Freático Profundo:** presente em áreas onde **o solo tem mais de 20 metros de profundidade**, como em terras altas e

planaltos. Nesses casos, as raízes geralmente não conseguem alcançar o lençol freático, e as árvores dependem exclusivamente da água da chuva. Por isso, esses ecossistemas estão mais vulneráveis a longos períodos de seca.

Pesquisas científicas sobre LF são fundamentais para entender como diferentes florestas reagem às mudanças no clima. Por exemplo, embora pareça contraintuitivo, em florestas onde o LF é profundo, a vegetação depende da chuva, e por isso pode ser mais sensível à seca do que em áreas de LF raso em que a vegetação tem acesso constante à água subterrânea. Ao mesmo tempo, em locais com lençol freático profundo (LFP), espera-se que as plantas desenvolvam características adaptadas à escassez de água — como raízes mais longas ou folhas resistentes à perda de água — o que pode ajudar a mitigar os efeitos da seca.





Características	Lençol Freático Raso (LFR)	Lençol Freático Profundo (LFP)
 <i>Profundidade</i>	0 - 5 metros	20 - 60 metros
 <i>Acesso pelas raízes</i>	Acessível por raízes superficiais.	Exige raízes profundas. Muitas vezes não há acesso.
 <i>Resiliência à seca</i>	Alta em secas moderadas.	Mais vulnerável à seca prolongada.
 <i>Produtividade da floresta</i>	Mantida pela umidade do solo mesmo em períodos secos.	Depende da recarga lenta e profunda.

Tabela 1: Principais diferenças entre Lençol Freático Raso (LFR) e Lençol Freático Profundo (LFP).



IMPORTANTE: As florestas com lençol freático raso podem sofrer limitações de crescimento com o excesso de água no solo e falta de oxigênio nas raízes. Quando acontece uma seca normal ou moderada em áreas com LF raso, as plantas podem crescer mais. Isso porque o lençol freático fica um pouco mais profundo e aerado, mas ainda há umidade suficiente para as plantas transportarem água para as folhas e fazerem fotossíntese. Portanto, durante secas moderadas, as florestas com LFR podem se tornar mais produtivas e menos suscetíveis à mortalidade do que florestas com LFP, por terem acesso à água subterrânea. Em secas extremas, no entanto, as florestas com LFR podem ser mais vulneráveis à mortalidade, porque o LF pode ficar mais profundo, limitando o alcance da água pelas raízes (que são superficiais nessas florestas). Além disso, as espécies que habitam florestas com LFR são, em geral, menos tolerantes ao déficit hídrico do que as espécies das florestas com LFP, justamente porque elas estão adaptadas a condições de bastante umidade no solo.



Figura 4: Imagem adaptada representando o lençol freático e a franja capilar. Fonte: CPT Cursos à Distância, [s.d.].

Como as diferenças de profundidade do LF podem interferir na biomassa e na produtividade de uma floresta?

Estudar a produtividade e a biomassa ajuda a entender como a floresta pode reagir às mudanças climáticas e até prever se ela continuará sendo uma aliada contra o aquecimento global — ou se pode começar a liberar mais carbono do que absorver. A produtividade de uma floresta se refere à taxa (ou velocidade) de armazenamento de energia em forma de massa, ou seja, a velocidade em que a floresta produz folhas e a madeira dos galhos, troncos e raízes. Já o estoque de biomassa se refere a quantidade de energia armazenada em um certo momento, indicando quanto pesa a floresta (biomassa) de uma determinada área naquele momento em que estamos fazendo a medida. E, como praticamente metade da biomassa das árvores é água e a outra metade é carbono, podemos dizer que a taxa de sequestro de carbono de uma floresta é metade de sua produtividade. O mesmo para os estoques de carbono, são a metade do estoque de biomassa da floresta. Essas medidas são muito importantes para entender quanto e se as florestas estão ajudando a tirar o carbono da atmosfera, diminuição do aquecimento global, e guardando esse carbono em suas folhas, galhos, troncos e raízes.

Você já tinha ouvido falar sobre biomassa e produtividade das florestas? No quadro abaixo, colocamos os conceitos para que possa entender melhor a relação desses termos com o LF e o ciclo de vida da floresta:

Produtividade é como se fosse uma forma de avaliar o crescimento das plantas. Ela mostra o quanto as árvores se desenvolvem ao transformar gases que ela absorve, como por exemplo o gás carbônico do ar em órgãos importantes para o seu desenvolvimento como: folhas, troncos e raízes, por meio da fotossíntese. Em florestas da Amazônia, essa produtividade pode mudar bastante dependendo da água disponível no solo. Quando chove pouco, a floresta pode ter um menor crescimento/desenvolvimento. Mas em áreas com água no subsolo bem perto da superfície (o chamado lençol freático raso), até mesmo períodos mais secos podem ajudar no crescimento, porque reduzem o excesso de água que sufoca as raízes. Já **biomassa** é a quantidade total de matéria viva acumulada nas árvores — ou seja, é a "massa" de toda essa vegetação. Quanto maior a biomassa, mais carbono está sendo guardado nas plantas, o que ajuda a combater o aquecimento global. Florestas com árvores maiores e mais antigas costumam ter mais biomassa. Em áreas com o solo muito encharcado, as árvores geralmente são menores e crescem menos, então a biomassa também é mais baixa.

Os pesquisadores também relataram no artigo sobre o LF na bacia Amazônica que as florestas tropicais com LFR possuem características únicas que as diferenciam das florestas com LFP: elas abrigam árvores mais dependentes de recursos hídricos superficiais, que são mais baixas e com menor biomassa. Em anos de clima normal, essas florestas apresentam maior mortalidade e menor produtividade em comparação com as florestas de LFP – o que já é esperado e conhecido pelos pesquisadores. No entanto, durante secas moderadas, algumas florestas com LFR mostram uma resiliência surpreendente: sua mortalidade diminui e a produtividade aumenta.

A água no solo define a resiliência das florestas tropicais às secas!

As florestas tropicais são ecossistemas dinâmicos e complexos, cuja resposta às mudanças climáticas, especialmente às secas, não pode ser explicada apenas pelas características das plantas ou pelas condições locais de solo e de água. O destino das árvores e o funcionamento do ecossistema dependem de uma intrincada interação entre os traços das espécies vegetais, o regime hídrico, o clima e as variações ambientais no tempo e no espaço.

Os **estômatos** — poros microscópicos nas folhas — regulam a entrada de CO_2 nas folhas e a saída de vapor d'água para atmosfera. Para fazer fotossíntese e produzir energia para sua sobrevivência e reprodução, as plantas precisam absorver o CO_2 atmosférico através dos estômatos. Porém, ao mesmo tempo em que a planta absorve o CO_2 atmosférico, ela perde água na forma de vapor d'água pelos estômatos. Essa troca gasosa depende de os estômatos estarem abertos e essa abertura depende da disponibilidade de água no solo e na planta. Quando a água disponível no solo diminui, algumas espécies fecham rapidamente os estômatos (estratégia isohídrica), enquanto outras mantêm a troca gasosa por mais tempo (estratégia anisohídrica). A distribuição dessas estratégias entre as espécies de plantas e locais ajuda a explicar por que diferentes regiões da Amazônia respondem de maneira distinta às secas.

Em áreas onde o LF está muito profundo, as plantas têm dificuldade para obter água. Quando a seca aperta, precisam economizar. **A solução?** Fechar os estômatos. Isso ajuda a conservar água, mas reduz a entrada de CO_2 , o que limita a fotossíntese e o crescimento da planta. É como se uma pessoa com pouca energia decidisse respirar menos para sobreviver. Se a economia for além das reservas, ou seja, se a planta ficar sem

suprimento de água e CO₂ por muito tempo, ela pode morrer por falta de água ou de carbono.

A água no solo e o comportamento das árvores (i.e. suas trocas gasosas, crescimento e sobrevivência) diante da seca estão interligados. Essa interação entre solo, planta e atmosfera definem o destino das florestas tropicais em um mundo em transformação perante as mudanças climáticas – e ao mesmo tempo que essa interação depende do clima, também influencia o clima que sentimos.

Lembramos que o acesso das árvores à água subterrânea não é constante nessas regiões. Os níveis do LF variam no tempo, influenciados por fatores sazonais e interanuais, o que torna sua profundidade e flutuação variáveis-chave para compreender as respostas da vegetação às mudanças climáticas. (COSTA; SCHIETTI; STARK; SMITH, 2023).

O ambiente com Lençol Freático Raso – O mais comum na bacia amazônica

As características do ambiente com LFR podem tanto favorecer quanto dificultar o crescimento das plantas, dependendo de diversos fatores. Por um lado, ele garante um solo mais úmido ao longo do ano, o que pode ser benéfico especialmente durante a estação seca e os eventos de secas moderadas. Quando o LF é muito raso e chove demais, o solo fica saturado de água, criando um ambiente com *hipoxia* e/ou *anoxia*, prejudicando a respiração das raízes e limitando o crescimento das plantas. Esse cenário é muito comum em regiões onde se forma o igapó, florestas alagáveis na beira de grandes rios que durante parte do ano tem LFR. Por outro lado, quando o LF é profundo e a chuva escassa, as raízes não

alcançam a umidade necessária — e as plantas sofrem com a seca. Ou seja: nos dois extremos, a produtividade da floresta cai.

Igapó	Floresta alagável da Amazônia que ocorre em áreas baixas, onde os rios de água preta transbordam periodicamente, alagando grandes extensões de terra. O termo "igapó" vem do tupi e significa “água de raiz”, fazendo referência às áreas onde as árvores ficam com as raízes constantemente submersas.
Anoxia	Ausência total de oxigênio no solo. Ocorre quando os poros do solo ficam completamente saturados de água, impedindo a difusão de oxigênio do ar. Em ambientes anóxicos, as raízes das plantas não conseguem realizar respiração aeróbica, o que pode levar à morte celular e até à morte da planta, caso a condição persista.
Hipoxia	Baixa disponibilidade de oxigênio no solo, mas não sua ausência completa. Ainda há algum nível de oxigênio, suficiente para permitir alguma respiração aeróbica, mas insuficiente para a plena atividade das raízes e microorganismos.

As plantas conseguem até sobreviver em condições de alagamento, mas seu crescimento pode ser limitado. Isso acontece porque, sem oxigênio suficiente no solo, os processos metabólicos e a absorção de nutrientes ficam comprometidos. Além disso, o solo encharcado favorece reações químicas que reduzem a disponibilidade de nutrientes importantes, como o nitrogênio. Por outro lado, o fósforo pode se tornar mais disponível nessas condições.

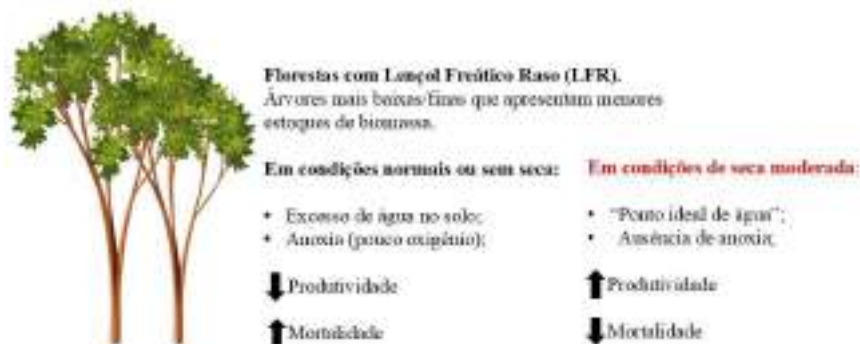


Figura 3: Principais características das florestas com LFR em condições normais e de seca moderada.



Figura 5: Principais características das florestas com LFP em condições normais e de seca moderada.

Outros fatores, como o tamanho das plantas, adaptações fisiológicas e as características do solo, influenciam a capacidade de lidar com a falta de oxigênio. Algumas espécies conseguem se adaptar formando associações com fungos (micorrizas), que ajudam na absorção de nutrientes mesmo em ambientes alagados.

Mas nem tudo se resume à nutrição: o encharcamento também afeta a estabilidade das árvores. Solos muito úmidos oferecem menor resistência mecânica, ou seja, as raízes têm menos firmeza para manter as árvores em pé, o que aumenta o risco de

queda durante tempestades ou ventos fortes. Isso explica por que florestas com lençol freático raso costumam ser mais dinâmicas, com maior rotatividade de árvores e taxa de queda.

Em um primeiro momento, a vegetação pode até se beneficiar de mudanças leves no regime hídrico do solo, especialmente se isso aliviar estresses frequentes como alagamentos ou secas leves. No entanto, quando essas mudanças se intensificam — como vimos no forte **El Niño de 2023** — a vegetação tem dificuldade em se adaptar e a produção vegetal diminui drasticamente. **Com a crescente variabilidade climática, eventos extremos estão se tornando mais comuns e intensos.** Isso exige atenção redobrada de pesquisadores, gestores e da sociedade. Afinal, garantir a resiliência das florestas é essencial para manter os serviços ecológicos que sustentam o clima, a biodiversidade e a própria vida humana.

Em resumo, os ambientes com LFR na Amazônia são desafiadores: por um lado, mantêm o solo úmido mesmo na seca; por outro, criam condições que limitam a oxigenação, a nutrição e a estabilidade das árvores. O resultado é uma floresta com estrutura e funcionamento bastante diferentes daquelas em áreas com solo mais seco e profundo.

A dança das águas na Amazônia: cheia e vazante

Na Amazônia brasileira, a vida segue o ritmo das águas. Todos os anos, os rios da região passam por um ciclo natural de cheia e vazante que transforma completamente a paisagem e a dinâmica dos ecossistemas. Durante o período de **cheia**, que ocorre em diferentes períodos nas diferentes regiões da Amazônia, as águas dos rios sobem e inundam vastas áreas de floresta

conhecidas como **várzeas**. Essas florestas alagáveis tornam-se verdadeiros berçários da biodiversidade, abrigando peixes, aves, insetos e plantas adaptadas a esse ambiente temporariamente submerso.

Já na época da **vazante**, quando as águas recuam, os solos ricos em nutrientes deixados pelas enchentes tornam-se ideais para o crescimento de diversas espécies vegetais e para a agricultura ribeirinha. Esse ciclo natural não apenas mantém a fertilidade da terra e a diversidade de espécies, mas também é fundamental para a vida das populações locais, que adaptam sua moradia, alimentação e meios de transporte ao ritmo do rio.

A cheia e a vazante são, portanto, expressões vivas da conexão entre a natureza e as pessoas na Amazônia — uma relação moldada pelas águas e essencial para o equilíbrio ambiental da maior floresta tropical do planeta.



Figura 6: Imagens de um ponto turístico na cidade de Manaus-AM, conhecida como “Marina do Davi”, em época de seca (esquerda) e cheia (direita).

Água no Solo e o Efeito das Secas no Clima Global




Quando a precipitação diminui, florestas tropicais podem deixar de sequestrar carbono e passar a **emitir grandes quantidades de carbono**, agravando o aquecimento global. Durante o forte **El Niño de 2015-2016**, por exemplo, as florestas tropicais liberaram $2,5 \pm 0,34$ gigatoneladas de carbono na atmosfera (SANTOS *et al.* 2017). Secas intensas, como as associadas a esses eventos, podem matar árvores e desencadear um ciclo perigoso de emissões e aquecimento (DE OLIVEIRA *et al.*, 2023).

As florestas que se desenvolvem sobre LFR são frequentemente sub-representadas em monitoramentos florestais de longo prazo e podem trazer uma compreensão mais completa sobre a resiliência da floresta amazônica em toda a bacia se forem de fato bem representadas nos estudos, especialmente naqueles sobre efeitos de secas. Esta lacuna de conhecimento destaca a necessidade de uma investigação mais aprofundada das florestas sobre LFR e sua dinâmica de flutuação ao longo do tempo, a fim de compreender melhor suas dinâmicas hidrológicas e sua resiliência diante das mudanças climáticas.

É urgente entender se essas regiões com LFR funcionarão como refúgios temporários para a biodiversidade ou se estão prestes a se transformar em primeiros focos de degradação florestal em larga escala. A resposta a essa pergunta depende de novas investigações em campo, que considerem não só a profundidade do LF, mas também fatores como o desmatamento, os incêndios e o avanço da savanização.

Por isso, é urgente entender se essas regiões funcionarão como refúgios temporários para a biodiversidade ou se estão prestes a se transformar em primeiros focos de degradação florestal em larga escala. A resposta a essa pergunta depende de novas investigações em campo, que considerem não só a profundidade do LF, mas também fatores como o desmatamento, os incêndios e o avanço da savanização.

Para lembrar:

 Lençol Freático	 Fertilidade do Solo	 Efeito Combinado
A disponibilidade de água em excesso ou escassez afeta o crescimento das plantas.	Solos ricos em nutrientes ajudam as árvores a crescerem mais rápido.	Solos férteis + água em excesso = maior risco em secas extremas.

Concluindo...

Incertezas nos Modelos Climáticos e a Necessidade de Pesquisas em FLR

Apesar dos avanços, a resiliência das florestas tropicais às secas ainda não é plenamente compreendida. Modelos globais de vegetação apresentam previsões divergentes, variando do colapso florestal à adaptação robusta (IPCC, 2013; Friedlingstein et al., 2014). Grande parte dessa incerteza decorre do fato de que muitos modelos negligenciam a variação hidrológica, especialmente a influência do LF.


Um viés comum em pesquisas de campo na região amazônica, é o foco excessivo em áreas com lençóis freáticos profundos, o que pode **superestimar a sensibilidade geral das florestas à seca**.

Por que isso é importante?

- **Ciclo do Carbono:** secas severas podem transformar florestas tropicais de sumidouros de carbono em fontes de emissão, acelerando o aquecimento global.

- **Biodiversidade:** florestas com lençóis freáticos rasos abrigam espécies únicas, mas pouco estudadas, que podem ser chave para a adaptação climática.
- **Conservação:** proteger essas áreas requer estratégias específicas, como a gestão integrada de águas subterrâneas e a prevenção de incêndios.

O ciclo de vida das florestas amazônicas depende **do equilíbrio entre a chuva e a água subterrânea**. Com secas mais longas e temperaturas cada vez maiores, **as florestas podem deixar de ser produtivas e colapsar**, colocando em risco a biodiversidade, o clima e a permanência de todos os seres vivos.

 **A resposta da floresta às mudanças climáticas depende do seu “histórico” e do seu ambiente:**

- Florestas que cresceram em áreas úmidas podem ser mais vulneráveis à seca por seu histórico (características das espécies), mas podem ser mais resilientes pela proteção que seu ambiente confere.
- Florestas adaptadas a solos mais secos podem não suportar períodos prolongados de alagamento.

As respostas da floresta não são lineares — ou seja, pequenas mudanças no regime de água podem ter grandes impactos, positivos ou negativos, dependendo da região e do tipo de vegetação.

 Compreender esse “balanço hídrico” ajuda a sociedade e tomadores de decisão a:

- Prever quais áreas da Amazônia são mais vulneráveis;
- Proteger florestas que funcionam como refúgios naturais contra a seca;
- Pensar em estratégias para conservar a biodiversidade e os serviços ecológicos — como a regulação do clima e o armazenamento de carbono.

Para pensar: Quando a Natureza Muda o Sabor: Como as Cheias e Secas Extremas Estão Impactando os Alimentos na Amazônia.

As mudanças climáticas estão transformando a dinâmica dos rios amazônicos — e isso já afeta diretamente o que chega às nossas mesas. A alternância cada vez mais rápida entre cheias e secas, como a cheia precoce de 2024 e a seca histórica de 2023, está causando escassez de alimentos e aumento de preços em feiras e supermercados de Manaus. Frutas como banana pacovã, cupuaçu e maracujá tiveram não só a produção reduzida, mas também alterações perceptíveis na **textura, tamanho e sabor**, consequência direta do estresse hídrico nas plantações. A agricultura familiar sofre com a perda de safras, e a pesca tradicional também está em risco: peixes como o tambaqui e o pirarucu tornam-se mais difíceis de capturar. A floresta e seus rios estão mudando — e, com eles, toda a cadeia alimentar e a segurança alimentar das populações locais. Notícia disponível em: <https://amazonasatual.com.br/cheia-rapida-causa-escassez-de-alimentos-e-aumento-de-precos/>

Referências

BRANDO, P. M.; GOETZ, S. J.; BACCINI, A.; NEPSTAD, D. C. *et al.* Seasonal and interannual variability of climate and vegetation indices across the Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 107, n. 33, p. 14685-14690, 2010.

COSTA, F. R.; SCHIETTI, J.; STARK, S. C.; SMITH, M. N. The other side of tropical forest drought: do shallow water table regions of Amazonia act as large-scale hydrological refugia from drought? **New Phytologist**, 237, n. 3, p. 714-733, 2023.

DE OLIVEIRA, G.; MATAVELI, G.; STARK, S. C.; JONES, M. W. *et al.* Increasing wildfires threaten progress on halting deforestation in Brazilian Amazonia. **Nature Ecology & Evolution**, 7, n. 12, p. 1945-1946, 2023.

CPT CURSOS A DISTÂNCIA. **Lençóis e nascentes: como a água se forma e se move no solo?** Disponível em: <https://www.cpt.com.br/artigos/lencois-e-nascentes-como-a-agua-se-forma-e-se-move-no-solo>. Acesso em: 08 dez. 2025.

FAN, Y.; MIGUEZ-MACHO, G.; JOBBÁGY, E. G.; JACKSON, R. B. *et al.* Hydrologic regulation of plant rooting depth. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 114, n. 40, p. 10572-10577, 2017.

GLOOR, M.; BARICHIVICH, J.; ZIV, G.; BRIENEN, R. *et al.* Recent Amazon climate as background for possible ongoing and future changes of Amazon humid forests. **Global Biogeochemical Cycles**, 29, n. 9, p. 1384-1399, 2015.

ROEBROEK, C. T.; MELSEN, L. A.; HOEK VAN DIJKE, A. J.; FAN, Y. *et al.* Global distribution of hydrologic controls on forest growth. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, 2020, p. 1-22, 2020.

SANTOS, Yara Luiza Farias dos *et al.* Variabilidade espaço-temporal do monóxido de carbono sobre a América do Sul a partir de dados de satélite de 2003 a 2012. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 1, p. 89-98, 2017.

Lixeiros, Agricultores e Guardiões do Solo: A Ciência por trás dos Besouros Rola-Bosta



Aline Samara Lima de Jesus (UFAM)¹

Rafaella Maciel (UnB)²

Filipe Machado França (Bristol/UK)³

No complexo equilíbrio da natureza, cada organismo desempenha um papel essencial para a manutenção dos ecossistemas. Entre os inúmeros agentes da reciclagem natural, os **besouros rola-bosta** se destacam como verdadeiros **lixeiros e agricultores do meio ambiente**. Esses pequenos insetos são responsáveis por remover e reaproveitar grandes quantidades de matéria orgânica, promovendo um impacto ambiental positivo que muitas vezes passa despercebido.

¹ Estudante UFAM.

² Mestre e Doutora em Entomologia pela Universidade Federal de Lavras (UFLA)

³ Professor da Universidade de Bristol, Inglaterra e professor voluntário da UFPA.

O que são os besouros rola-bosta?



Os besouros rola-bosta pertencem à família *Scarabaeidae* e são conhecidos por seu hábito de coletar e enterrar fezes de animais. Esse comportamento desempenha funções ecológicas essenciais, como a limpeza do ambiente e a fertilização do solo.

Os besouros da família *Scarabaeidae*, como o **Oxysternon conspicillatum**, localizam rapidamente fezes de animais e as transportam para locais mais adequados, onde serão consumidas ou servirão de abrigo para suas larvas. Esse comportamento evita o acúmulo excessivo de matéria orgânica na superfície, reduzindo a proliferação de pragas e doenças. Dessa forma, eles desempenham uma função similar à dos serviços de coleta de lixo urbano, mas em escala natural.


Como eles encontram fezes?



Muitos besouros rola-bosta possuem um olfato extremamente apurado, permitindo que detectem fezes a grandes distâncias. Alguns chegam ao local do "depósito" em poucos minutos, competindo com outros insetos pelo recurso.

Além da limpeza do ambiente, esses besouros atuam como **agentes de fertilização do solo**. Ao enterrarem as fezes junto com seus ovos, promovem a reciclagem de nutrientes essenciais, tornando o solo mais rico e produtivo. Esse processo beneficia diretamente a vegetação, garantindo que novas plantas possam crescer com mais vigor. O impacto de sua atividade é tão significativo que ecossistemas inteiros dependem de sua ação para manter a fertilidade da terra.

O que é a reciclagem de nutrientes?

 No meio ambiente, a matéria orgânica passa por um processo contínuo de decomposição e reaproveitamento. Os nutrientes presentes nas fezes de animais são absorvidos pelo

Outra consequência ambiental positiva da atividade desses besouros é a **aeração do solo**. À medida que escavam túneis para enterrar o esterco, criam canais que facilitam a penetração da água e do oxigênio na terra. Esse efeito melhora as condições para o desenvolvimento das raízes das plantas e contribui para um equilíbrio mais saudável do ecossistema subterrâneo.

A importância dos besouros rola-bosta também pode ser observada em paisagens alteradas pelo homem, como pastagens e áreas agrícolas. Em locais onde esses insetos são abundantes, a decomposição dos dejetos de animais ocorre de forma mais eficiente, reduzindo a necessidade de fertilizantes artificiais e ajudando na manutenção da qualidade do solo. Esse fator reforça sua relevância na conservação ambiental e no equilíbrio dos biomas.

No entanto, mesmo sendo tão essenciais para a manutenção dos ecossistemas, os besouros rola-bosta enfrentam **ameaças ambientais** significativas. A degradação de habitats naturais, o uso indiscriminado de pesticidas e a diminuição de grandes mamíferos produtores de esterco afetam diretamente suas populações. A perda desses insetos pode gerar impactos negativos em cascata, comprometendo a fertilidade do solo e o funcionamento equilibrado dos ecossistemas.



Conceitos diretamente envolvidos

Os besouros rola-bosta pertencem à família **Scarabaeidae**, subfamília **Scarabaeinae**, e desempenham um papel ecológico essencial na ciclagem de nutrientes e na fertilidade do solo. Seu ciclo de vida **holometábolo** (completo) inclui as fases de ovo, larva, pupa e adultos.



Na ilustração acima, é possível observar como os besouros rola-bosta passam por um ciclo de vida **holometábolo**, composto por **quatro fases distintas**:

1. Ovo – A fêmea deposita os ovos no interior de uma bola de fezes, garantindo alimento e proteção contra predadores e ressecamento. A postura pode variar conforme a espécie e as condições ambientais.

2. Larva – Após a eclosão, a larva se alimenta intensamente da matéria orgânica disponível. Nessa fase, ocorre o **crescimento acelerado** e a transformação da matéria fecal em húmus, um material rico em nutrientes para o solo.

3. Pupa – Quando atinge o desenvolvimento necessário, a larva entra no estágio de pupa dentro da bola de esterco endurecida. Nesse período de metamorfose, ocorrem **mudanças estruturais profundas**, preparando o besouro para a fase adulta.

4. Adulto – Após emergir da pupa, o besouro adulto escava um túnel para sair do solo e buscar alimento e parceiros.


reprodutivos. É nessa fase que ele desempenha **suas funções ecológicas mais importantes**, transportando e enterrando esterco.

O Dr. Filipe Machado França, pesquisador do INCT SIMBIAM que produziu essa ilustração, é referência na pesquisa com besouros rola-bosta, e tem investigado como as mudanças ambientais e atividades humanas influenciam os besouros e as suas atividades na natureza. Suas pesquisas na Amazônia ajudaram a compreender como as mudanças climáticas e destruição das florestas influenciam a biodiversidade e os processos ecológicos associados aos besouros. A figura anterior, produzida por ele, ilustra com precisão essas fases e sua importância para os ecossistemas tropicais.

Esses besouros podem ser classificados com base no seu comportamento reprodutivo e alimentar em três grupos funcionais:

- **Residentes** – depositam seus ovos diretamente dentro das fezes.
- **Escavadores** – enterram o esterco próximo à fonte original.
- **Roladores** – moldam bolas de esterco e as transportam para longe.
-

Por que os besouros enterram esterco?

 Enterrar o esterco protege os ovos contra predadores e evita o ressecamento. Além disso, essa prática ajuda a fertilizar o solo



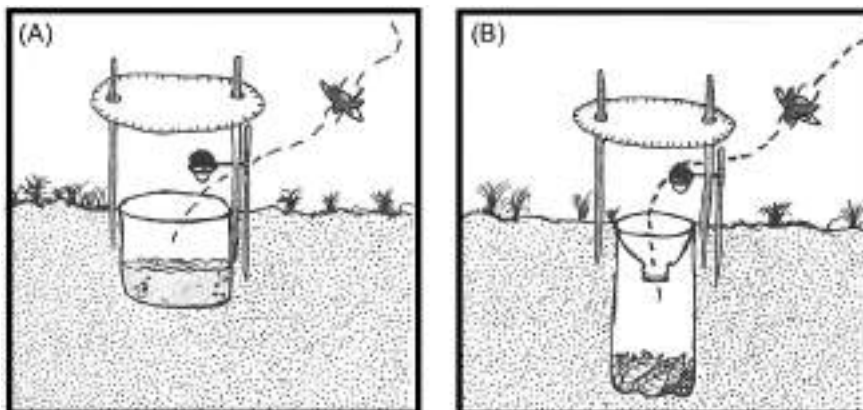
Sequência da pesquisa

Os estudos sobre besouros rola-bosta seguem uma abordagem estruturada, composta por diversas etapas que

garantem a coleta, análise e interpretação de dados sobre esses insetos e seu papel ecológico.

1 Coleta de espécimes no campo

A primeira etapa da pesquisa envolve a **amostragem de besouros** em diferentes ambientes. Para isso, os pesquisadores utilizam um método amplamente testado e eficiente: as **armadilhas de queda (pitfall traps)**, que consistem em recipientes enterrados no solo, iscados com fezes ou carcaças para atrair os insetos. As armadilhas ficam expostas por **48 horas** antes da coleta dos espécimes.





✦ O que são armadilhas de queda?

● **Pitfall traps** são recipientes plásticos ou de vidro enterrados no nível do solo e preenchidos com líquidos conservantes ou iscas orgânicas. São uma técnica comum para capturar besouros e outros artrópodes terrestres. Essa etapa pode ser realizada em diferentes tipos de vegetação, como florestas tropicais, savanas e áreas de pastagem. No caso da **Reserva Ecológica do Panga**, a pesquisa analisou **dois tipos de fitofisionomia**: o cerrado stricto sensu e a floresta estacional semidecidual.

No total foram capturados 2.544 indivíduos e 47 espécies de besouros escarabeíneos – o que representa 6% do total de espécies conhecidas em todo o território brasileiro – de 16 gêneros. O gênero com maior diversidade de espécies foi *Dichotomius*, com sete

espécies, sendo três exclusivas do cerrado, uma exclusiva da floresta semidecídua e três compartilhadas entre os dois ambientes. Dentre as 47 espécies amostradas, nove são consideradas raras localmente (registro de apenas um ou dois indivíduos), representando 19% do total de espécies amostradas na REP.

2 Identificação e classificação dos besouros

Após a coleta, os besouros são cuidadosamente retirados das armadilhas e transportados para o laboratório. Lá, passam por um processo de **triagem e identificação**, onde os espécimes são separados por:

- ✓ **Espécie e gênero** – Utilizando chaves de identificação morfológica.
- ✓ **Comportamento alimentar** – Coprófagos (se alimentam de fezes), necrófagos (se alimentam de carcaças), frugívoros (consomem frutos).
- ✓ **Estratégia de alocação de recursos** – Escavadores, residentes ou rola-dores.

3 Análises laboratoriais e biometria

Como os besouros rola-bosta são classificados?



Os besouros podem ser divididos em **três grupos funcionais**:

Residentes – Depositam ovos diretamente nas fezes.

Escavadores – Enterram o esterco próximo ao local de origem.


Roladores – Moldam bolas de esterco e as transportam para longe.


Com os besouros identificados, os pesquisadores realizam uma série de análises para entender melhor sua ecologia e função nos ecossistemas. Entre os principais procedimentos estão:


- **Medição da biomassa dos besouros** – Os insetos são pesados em balanças de precisão para determinar a quantidade de matéria orgânica que removem do ambiente;
- **Avaliação da estratégia de alocação de recursos** – Determina-se se a espécie coleta fezes em grandes quantidades ou pequenas porções;
- **Preferências alimentares e horário de atividade** – Alguns besouros são diurnos, enquanto outros são noturnos ou crepusculares;

4 Interpretação dos dados e impacto ecológico


Após a obtenção dos resultados, os cientistas analisam o impacto dos besouros rola-bosta sobre o meio ambiente. Essa interpretação pode incluir:

 **Efeito na fertilidade do solo:** Como a atividade dos besouros influencia a ciclagem de nutrientes e a dispersão de sementes.

 **Respostas às mudanças ambientais:** Comparação entre áreas preservadas e degradadas.

 **Influência da atividade humana:** Avaliação do impacto da pecuária, desmatamento e mudanças climáticas sobre as populações de besouros.

Qual a importância dos besouros para a ecologia?

 Além de limpar o ambiente e reduzir pragas, esses besouros contribuem para a **dispersão de sementes**, promovendo a regeneração das florestas e aumentando a biodiversidade.

O tempo demandado por cada pesquisa pode variar. Estudos de curta duração duram **algumas semanas**, enquanto pesquisas ecológicas de longo prazo podem se estender por **anos**, como os realizados na **Reserva Ecológica do Panga**.



Condições de trabalho

Os pesquisadores geralmente trabalham em **ambientes naturais**, como florestas tropicais, savanas e pastagens. O trabalho de campo exige resistência física, pois envolve caminhadas longas, exposições ao clima e manipulação de materiais orgânicos, como fezes de animais.

Além das dificuldades naturais do trabalho em campo, como longas caminhadas, exposição ao clima e manipulação de material orgânico, os pesquisadores enfrentam desafios logísticos para acessar áreas remotas. Em muitas regiões tropicais, como na **Reserva Ecológica do Panga e na Floresta Nacional do Tapajós**, o deslocamento depende de barcos, veículos off-road e até mesmo caminhadas longas por trilhas de difícil acesso.

O clima também influencia significativamente a pesquisa: durante a estação chuvosa, as trilhas ficam encharcadas e o solo lamacento dificulta a instalação das armadilhas. Já na estação seca, a baixa umidade pode afetar a atividade dos besouros, reduzindo o número de indivíduos coletados. Além disso, a coleta de besouros exige monitoramento contínuo das armadilhas, já que a presença de predadores naturais, como formigas e pequenos mamíferos, pode interferir nos resultados, removendo ou consumindo os espécimes antes da análise.



Equipamentos utilizados

Os principais equipamentos utilizados incluem:

- ✓ **Armadilhas de queda (pitfall traps)** – para captura de besouros;
- ✓ **Pinças e frascos** – para manipulação e armazenamento dos espécimes;
- ✓ **Lupas e estereomicroscópios** – para identificação taxonômica;
- ✓ **Balanças de precisão** – para medição de biomassa dos besouros;
- ✓ **Software estatísticos** – para análise de dados ecológicos.




Pesquisadores envolvidos

Os estudos sobre besouros rola-bosta geralmente envolvem equipes multidisciplinares, compostas por **biólogos, ecólogos e entomólogos**. O número de pesquisadores varia conforme o projeto, mas pesquisas de longo prazo podem contar com **5 a 10 cientistas**, além de assistentes de campo.

Entre os pesquisadores de destaque na área, o Dr. Filipe Machado França tem se dedicado ao estudo da biodiversidade e funcionamento ecológico dos besouros rola-bosta em ecossistemas tropicais. Como vice-coordenador do Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração da Rede Amazônia Oriental (PELD-AmOr), ele lidera projetos que avaliam os impactos das mudanças ambientais e do uso da terra sobre esses insetos. Além disso, sua atuação no SINBIAM tem sido essencial para divulgação e o monitoramento de comunidades de besouros e seu papel na manutenção dos serviços ecossistêmicos na Amazônia.

O que é o INCT/SINBIAM?

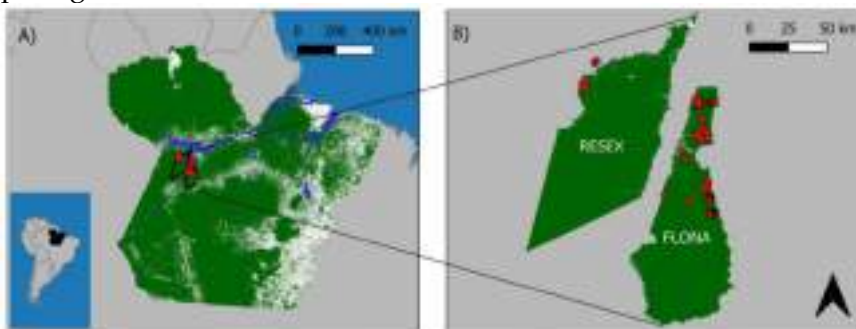
 O **INCT SinBiAm** (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sínteses da Biodiversidade Amazônica) é uma rede transdisciplinar e interinstitucional dedicada a gerar e divulgar pesquisas sobre a biodiversidade terrestre e aquática da Amazônia. Seus objetivos incluem fortalecer e ampliar colaborações focadas em pesquisas de síntese sobre a biodiversidade amazônica, informar práticas e políticas públicas voltadas para educação, conservação e manejo sustentável, além de promover a formação de futuras gerações de tomadores de decisões, educadores e cientistas atuando na região amazônica.

Estado de conhecimento de rola-bostas na Flona do Tapajós e Resex Tapajós- Arapiums

Diversas pesquisas já foram realizadas utilizando os besouros como bioindicadores e com coletas padronizadas em florestas protegidas da Amazônia, incluindo a Floresta Nacional do Tapajós (FLONA do Tapajós), no estado do Pará.

A FLONA do Tapajós é uma das unidades de conservação mais estudadas da Amazônia. Diversos estudos já foram realizados com besouros rola-bostas, que foram coletados em diferentes tipos de florestas: preservadas, com exploração de madeira, florestas queimadas e florestas com exploração de madeira e queimadas. As pesquisas resultaram em importantes publicações ao longo dos últimos, juntamente com dados oriundos de outras florestas nas regiões próximas à Flona (Solar et al. 2015, Barlow et al. 2016, Ferreira et al. 2018, Lennox et al. 2018, Leal et al. 2020, Carvalho et al. 2020; França et al. 2020; Nunes et al. 2021).

Em 2016, o pesquisador Filipe M. França e colaboradores realizou pesquisas na FLONA do Tapajós (França et al. 2020), e demonstraram que a diversidade de besouros e suas funções ecológicas foram reduzidas após a seca extrema e incêndios florestais durante o El Niño de 2015-16, quando comparados com dados coletados antes do El Niño. Outro estudo, liderado pela cientista Edrielly Carvalho, integrou dados da FLONA do Tapajós e da Floresta Nacional do Carajás (Carvalho et al. 2023[FM1]⁴) e demonstrou a grande diversidade desses besouros nas florestas protegidas da Amazônia.



Em 2019, a pesquisadora Maria Katiane S. Costa, também desenvolveu uma pesquisa em 35 locais dentro da Flona. No entanto, os besouros coletados nessa ocasião ainda estão em fase de

⁴ [FM1] Dung beetles from two sustainable-use protected forests in the Brazilian Amazon.

identificação, mas certamente essa pesquisa, juntamente com as demais citadas, contribuirá muito para o conhecimento das espécies de rola-bostas da Flona!

Panorama sobre a riqueza e conservação de rola-bostas na Flona e Resex

Nas pesquisas realizadas na Flona, foi encontrada uma elevada quantidade de espécies e quantidade de indivíduos de besouros rola-bostas. Foram registradas 50 espécies, 54 morfoespécies (organismos em que a identificação até o nível de espécie não foi possível) e 14546 indivíduos de rola-bostas. As espécies mais abundantes foram *Canthon fulgidus* Redtenbacher, 1868 (1972 indivíduos amostrados), *Eurysternus caribaeus* (Herbst, 1789) (1890 indivíduos) e *Canthidium* aff. *deyrollei* (1725 indivíduos).

Foi encontrado um elevado número de espécies/morfoespécies com apenas um ou dois indivíduos registrados, sendo o equivalente a 30,77% de todas as espécies/morfoespécies coletadas. O grupo de besouros mais diverso foi *Canthidium*, com 25 espécies/morfoespécies. Nos locais pesquisados em 2010, foram registrados 11312 indivíduos pertencentes a 74 espécies/morfoespécies. Nos anos seguintes (2016 e 2017), Foram registradas 43 e 66 espécies/morfoespécies (1173 e 2061 indivíduos, respectivamente; Tabela 1). Com base nesses dados, é possível afirmar que a Flona abriga pelo menos **14,85%** das espécies de besouros rola-bostas registradas no Brasil, destacando a importância desta UC para manter a biodiversidade nacional.

No trabalho realizado na Resex, foram registradas 19 espécies, 33 morfoespécies, e 2725 indivíduos. As mais comuns foram *Sylvicanthon* sp. (392 indivíduos amostrados), *Canthidium* aff. *deyrollei* (367 indivíduos) e *Dichotomius* aff. *globulus* (225

indivíduos). Dentre as espécies identificadas, 17 foram também registradas na Flona e duas são exclusivas da Resex. Assim como na Flona, o grupo de espécies mais diversas foi *Canthidium*, com 11 espécies/morfoespécies registradas.

Nenhuma das espécies de besouros rola-bostas registradas nos estudos anteriores encontra-se nas listas de espécies ameaçadas de extinção. No entanto, isso não significa que todas as florestas da Flona e Resex estejam em boas condições de conservação (como visto por Nóbrega Spínola *et al.* 2020). Até mesmo porque, como demonstrado anteriormente, uma grande parte dos locais que estudamos estavam alterados devido à exploração madeireira e queimadas.

De fato, nos trabalhos realizados na Flona, o número de espécies/morfoespécies e de indivíduos foi maior nas florestas preservadas (86 espécies/morfoespécies e 7623 indivíduos respectivamente), seguidas pelas florestas que sofreram queimadas (70 espécies/morfoespécies e 3428 indivíduos), florestas que tiveram exploração de madeira (54 espécies/morfoespécies e 2115 indivíduos) e, por último, as florestas impactadas pela exploração de madeira e por queimadas (37 espécies/morfoespécies e 1380 indivíduos).

Já na Resex, embora tenha sido amostrada maior quantidade de besouros em florestas que sofreram queimadas (1655 indivíduos), o número de espécies/morfoespécies foi menor (44) comparado à floresta preservada (1070 indivíduos e 47 espécies/morfoespécies). Com isso, é possível concluir que os distúrbios ambientais (**queimadas e exploração de madeira**) provavelmente causaram uma perda no número de espécies e de indivíduos de besouros rola-bostas nas regiões dos estudos.

Com essas pesquisas, demonstramos como a Flona e Resex apresentam grande diversidade de besouros rola-bostas. Dessa forma, ressaltamos que essas duas UCs são importantes para a **conservação** da fauna de besouros da Amazônia, e destacamos que a diversidade encontrada é provavelmente subestimada. Nosso levantamento da fauna de besouros rola-bostas demonstra ainda a

necessidade urgente de mais estudos sobre a biodiversidade de invertebrados na Flona e principalmente na Resex.



Como os cientistas identificam espécies de besouros?



A identificação é feita com o auxílio de **chaves taxonômicas**, lupas estereoscópicas e, em alguns casos, análise molecular para diferenciar espécies muito semelhantes.

Mas como separar os besouros escarabeíneos dos demais besouros? Para isso é necessário identificar as seguintes características: clípeo expandido, antenas lameladas, clavas antenais com três lamelas, pigídio exposto e tíbias posteriores com esporão apical único. Nessa figura estão identificadas as principais características morfológicas de besouros escarabeíneos:



A) clipeo expandido; B) antenas lameladas com clavas com três lamelas; C) pigídio exposto; D) tíbias posteriores com esporão apical único.

Foto: Vinicius Costa-Silva

Esses besouros possuem cores e formatos diversos, com tamanho do corpo podendo variar entre 2 a 60 mm de comprimento. Além disso, muitas espécies apresentam dimorfismo sexual, o que significa que machos e fêmeas da mesma espécie possuem diferentes características. Nesse caso, os machos podem apresentar grandes cornos (“chifres”) na cabeça, que auxiliam na construção de túneis e na disputa por fêmeas.



Figura X: Espécies de besouros rola-bostas registradas na Floresta Nacional do Tapajós: (A) *Eurysternus caribaeus* (Herbst, 1789); (B) *Isocopris nitidus* (Luederwaldt, 1922); (C) *Oxysternon macleayi* Nevinson, 1892; (D) *Onthophagus osculatii* Guérin-Ménéville, 1855; (E) *Cryptocanthus campbellorum* Howden, 1973; (F) *Dichotomius melzeri* (Luederwaldt, 1922); (G) *Dichotomius worontzowi* (Pereira, 1942); (H) *Dichotomius nesus* (Olivier, 1719); (I) *Deltochilum orbiculare* van Lansberge, 1874; (J) *Sulcuphaneus faunus* (Fabricius, 1775). As fotos são representadas proporcionalmente ao tamanho real, com aumento de 3x. Está vendo essa “bolinha” em cada bicho? São os alfinetes utilizados para fixação numa caixa com isopor.

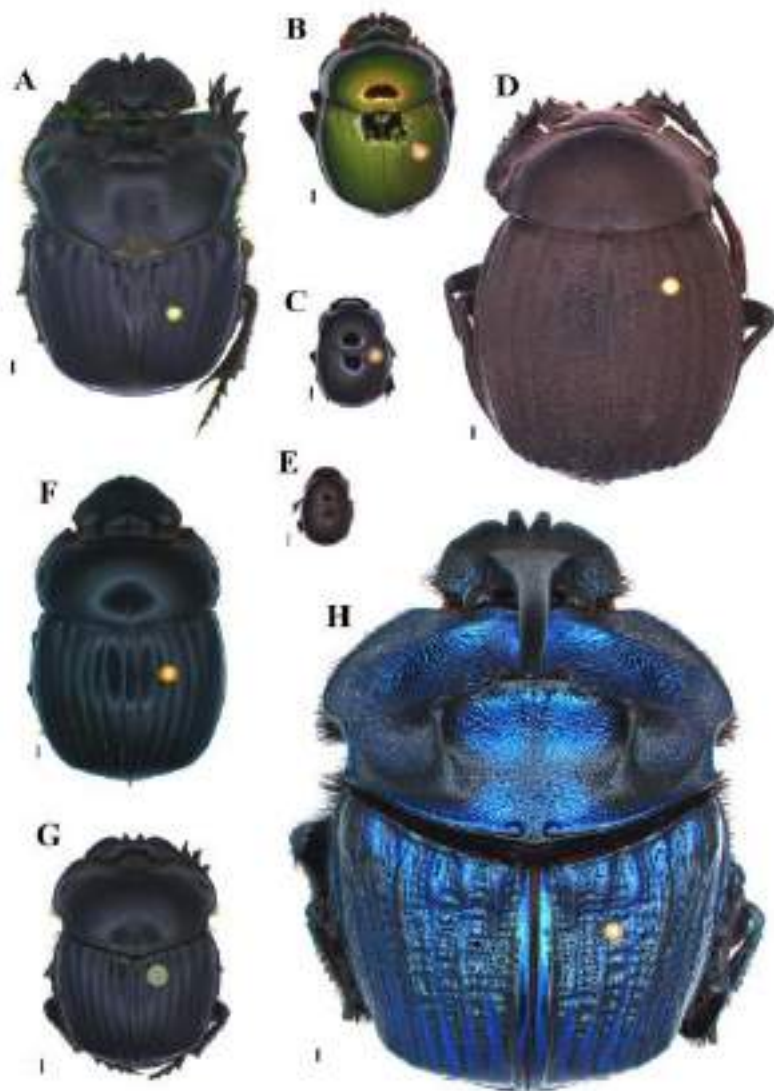


Figura x. Espécies de besouros rola-bostas registradas na Floresta Nacional do Tapajós (A) *Coprophanaeus jasius* (Olivier, 1789); (B) *Canthon fulgidus* Redtenbacher, 1868; (C) *Ateuchus substriatus* (Harold, 1868); (D) *Deltochilum enceladus* Kolbe, 1893; (E) *Ateuchus pygidialis* (Harold, 1868); (F) *Isocopris imitator* (Felsche, 1901); (G) *Coprophanaeus degallieri* Arnaud, 1997; (H) *Coprophanaeus lancifer* (Linné, 1767). As fotos são representadas proporcionalmente ao tamanho real, com aumento de 3x. Fotos: Vinícius Costa-Silva

✓ Principais Avanços Científicos

Mesmo com os desafios, a pesquisa trouxe descobertas importantes:

- ◆ **Registro de uma nova espécie** do gênero *Coprophaneus*, ainda em fase de descrição taxonômica.

- ◆ **Relação entre diversidade e conservação** – Ambientes preservados apresentam maior diversidade funcional, reforçando a necessidade de áreas protegidas.

- ◆ **Nova abordagem para avaliar impactos ambientais** – O estudo demonstrou que características funcionais dos besouros (biomassa, dieta e horário de atividade) são métricas tão importantes quanto a diversidade de espécies na análise ambiental.

✳ Por que a diversidade funcional importa?

🌱 Além do número de espécies, é essencial analisar como cada espécie contribui para o funcionamento do ecossistema. Algumas espécies enterram grandes quantidades de esterco, enquanto outras são mais eficientes na dispersão de sementes.

🌍 Considerações Finais: A Importância Ambiental dos Besouros Rola-Bosta

Os besouros rola-bosta são verdadeiros **engenheiros ecológicos**, desempenhando funções essenciais que garantem o equilíbrio e a manutenção da biodiversidade nos ecossistemas. No entanto, **as atividades humanas, como desmatamento, uso de**

pesticidas e fragmentação de habitats, ameaçam suas populações, o que pode gerar impactos negativos em cascata para o meio ambiente.



Besouros e a Saúde dos Ecossistemas

✓ **Reciclagem de matéria orgânica** – Ao enterrar fezes, os besouros aceleram a decomposição, liberando nutrientes essenciais para o solo e evitando o acúmulo de matéria orgânica.

✓ **Melhoria da estrutura do solo** – Os túneis escavados aumentam a aeração, facilitam a infiltração da água e reduzem a compactação do solo, tornando-o mais fértil e adequado para o crescimento das plantas.

✓ **Controle de pragas e doenças** – A rápida remoção de fezes impede a proliferação de insetos vetores de doenças, beneficiando tanto os animais silvestres quanto os de criação.

✓ **Conservação da vegetação** – Muitas sementes ingeridas por mamíferos herbívoros passam pelo sistema digestivo e são eliminadas nas fezes. Ao enterrarem esse material, os besouros ajudam na **dispersão e germinação das sementes**, contribuindo para a regeneração florestal.



O que acontece se os besouros desaparecerem?



O solo perderia fertilidade, pragas se proliferariam sem controle e a regeneração florestal seria comprometida. A ausência desses insetos poderia causar impactos ecológicos severos, afetando toda a cadeia alimentar.



O Papel dos Besouros na Redução dos Gases de Efeito Estufa

O impacto positivo desses insetos não se limita apenas ao solo. Pesquisas indicam que os besouros rola-bosta contribuem para a **redução das emissões de gases do efeito estufa**, especialmente o **metano (CH₄)** e o **óxido nitroso (N₂O)**, que são liberados durante a decomposição das fezes.

Como isso acontece?

- ✓ Enterrando o esterco, os besouros reduzem o tempo de decomposição e impedem a liberação de gases que intensificam o aquecimento global.
- ✓ A remoção de fezes também diminui populações de insetos decompositores que liberam esses gases ao degradar a matéria orgânica.



Como os besouros combatem as mudanças climáticas?



Diminuindo a emissão de metano e óxido nitroso, dois dos gases mais potentes na retenção do calor na atmosfera.



Urgência da Conservação e Continuidade das Pesquisas

A preservação dos besouros rola-bosta deve ser **uma prioridade na conservação ambiental**, pois sua ausência pode comprometer o funcionamento de ecossistemas inteiros. Estudos mostram que em áreas onde os besouros foram extintos devido ao

desmatamento, **o solo perdeu fertilidade, a vegetação foi afetada e pragas se proliferaram sem controle.**

Para garantir sua sobrevivência, são necessárias medidas como:

- ◆ **Criação de áreas protegidas**, evitando a destruição de habitats naturais.
- ◆ **Redução do uso de pesticidas**, que afetam diretamente a sobrevivência dos besouros.
- ◆ **Monitoramento contínuo da biodiversidade**, utilizando os besouros como bioindicadores ambientais.

Como podemos proteger os besouros rola-bosta?

- ✓ Evitando desmatamento, preservando áreas naturais e incentivando práticas agrícolas sustentáveis.

Referências

Barlow, J. et al. (2016). *Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation*. Nature. DOI: 10.1038/nature18326.

Braga, R. F., Korasaki, V., Audino, L. D., & Louzada, J. (2012). *Are dung beetles driving dung-fly abundance in traditional agricultural areas in the Amazon?* Ecosystems, 15(7), 1173–1181. DOI: 10.1007/s10021-012-9576-5.

Carvalho, R. L., et al. (2020). *Is dung removal a good proxy for other dung beetle functions when monitoring for conservation?* Ecological Indicators, 109, 105841. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105841>.

França, F. M. (2015). *Ecological impacts of selective logging in the Amazon: lessons from dung beetles*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras.

França, F. M. et al. (2020). *El Niño impacts on human-modified tropical forests: Consequences for dung beetle diversity and associated ecological processes*. *Biotropica*, 52(2), 252–262. DOI: 10.1111/btp.12756.

França, F., Louzada, J., & Barlow, J. (2018). *Selective logging effects on 'brown world' faecal-detritus pathway in tropical forests: A case study from Amazonia using dung beetles*. *Forest Ecology and Management*, 410, 136–143. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.12.027.

Gardner, T. A. et al. (2008). *The cost-effectiveness of biodiversity surveys in tropical forests*. *Ecology Letters*, 11(2), 139–150. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2007.01133.x.

Hanski, I., & Cambefort, Y. (1991). *Dung Beetle Ecology*. University Press.

Heink, U., & Kowarik, I. (2010). *What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning*. *Ecological Indicators*, 10, 584–593.

Losey, J. E., & Vaughan, M. (2006). *The economic value of ecological services provided by insects*. *Bioscience*, 56, 311–323.

McGeogh, M. A. (2007). *The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators*. *Ecology Letters*, 10(3), 189–199.

Nichols, E. et al. (2008). *Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles*. *Biological Conservation*, 141, 1461–1474.

Peixes e florestas: como o desmatamento da Amazônia afeta os peixes de riachos

Yana Bárbara da Silva Teixeira¹

Luciano Fogaça de Assis Montag²

Para que um **ecossistema** funcione bem, é essencial que as condições ambientais estejam equilibradas, permitindo que os ambientes terrestres e aquáticos realizem suas funções e interajam de forma harmoniosa.

Nos **riachos** (Figura 1), por exemplo, muitos recursos importantes, como sombreamento e alimentos para os animais aquáticos, vêm das áreas terrestres ao redor; como vegetação da margem. Por isso, qualquer mudança no ambiente terrestre, como o **desmatamento** ou **mudanças no uso da terra**, acaba afetando diretamente os **ecossistemas aquáticos** com os quais mantém interações.

Atividades humanas, como agricultura, mineração e a criação do gado, além de alterações do leito dos rios e emissões de gases que contribuem para o efeito estufa, impactam tanto os ambientes terrestres quanto os aquáticos. Essas ações podem

¹ Sínteses da Biodiversidade Amazônica (SinBiAm), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT).

² Professor Titular do Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará (UFPA); Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO).

prejudicar a estrutura e funcionamento dos ecossistemas, perturbando o equilíbrio natural, destruindo habitats e afetando as espécies que vivem nesses locais.

Na **Amazônia**, por exemplo, muitos riachos nascem no meio da floresta. Porém, o desmatamento, que ocorre para abrir espaço para atividades humanas, ameaça a **biodiversidade** e o ambiente natural desses riachos. Essa situação coloca em risco a rica vida animal e vegetal que depende deles.



Figura 1: Riacho típico da região do Baixo Amazonas.
Fonte: Arquivo LABECO.

Os **ecossistemas** são formados pelo ambiente físico, como o solo, a água e o ar, e pelos seres vivos que habitam esse espaço. Todos esses elementos estão conectados e interagem entre si, criando um equilíbrio que mantém o ecossistema funcionando. Seres vivos e ambiente dependem uns dos outros para que a vida se sustente.

Qual a relação entre os riachos e a vegetação adjacente?

Os riachos, ou regionalmente chamados de **igarapés** na Amazônia, têm uma relação muito próxima com a vegetação que cresce ao redor das suas margens, na região de transição entre o ambiente aquático e terrestre, conhecida como **vegetação ripária**. Essa vegetação funciona como uma ponte entre a terra e a água, trazendo benefícios importantes para o ambiente.

As florestas próximas aos riachos fornecem materiais como galhos, folhas, frutos e sementes. Esses materiais servem de alimento para os animais aquáticos e ajudam a criar diferentes tipos de **substratos** dos riachos, o que enriquece o ambiente e beneficia várias espécies.

O **substrato** é o material ou superfície sobre a qual organismos vivem, se alimentam ou se fixam. No contexto de ecossistemas aquáticos, o substrato refere-se aos materiais presentes no fundo de corpos d'água, como folhas, galhos, sedimentos, rochas, areia, e outros detritos orgânicos ou inorgânicos.

Os materiais encontrados no fundo dos riachos, como folhas, galhos e sedimentos, desempenham um papel essencial na modelagem do ambiente e das comunidades de organismos que ali vivem. Esses elementos criam condições que podem favorecer a alimentação, a reprodução e a sobrevivência de diferentes espécies. A variedade de substratos nos riachos é influenciada tanto por características próprias do corpo d'água, como a velocidade da correnteza e a presença de curvas, quanto pela vegetação ripária, que contribui com troncos caídos e folhas de diferentes tamanhos e tipos acumulados no leito. Essa combinação de fatores torna o ecossistema mais complexo e diverso, oferecendo uma ampla gama de condições ambientais e recursos. Como resultado, a fauna local se torna mais rica e variada.

Essa diversidade no ambiente, conhecida como **heterogeneidade ambiental**, desempenha um papel crucial no aumento tanto do número de espécies (ou seja, maior **riqueza biológica**) quanto da **diversidade funcional**. A diversidade funcional, por sua vez, está relacionada às diferentes funções desempenhadas pelas espécies no ecossistema, como a obtenção de alimento ou a reprodução. Essas funções são fundamentais para manter o equilíbrio e a saúde do ambiente (Figura 2).

Por exemplo, algumas espécies vivem no fundo do riacho, enquanto outras se concentram nas margens e outras ainda nas proximidades da superfície. Essa preferência por diferentes localizações no riacho está frequentemente relacionada ao formato do corpo de cada espécie, à sua capacidade de se camuflar no substrato, à habilidade de realizar manobras próximas à vegetação ou à destreza como nadadores de superfície. Além disso, os organismos apresentam dietas variadas e estratégias distintas para obter alimento. Em ambientes com alta heterogeneidade ambiental, os organismos conseguem explorar os diversos recursos disponíveis, espalhando-se ao longo do riacho. Isso garante que todos os espaços e recursos sejam aproveitados, permitindo que mais funções ecológicas sejam desempenhadas, o que contribui para a complexidade e equilíbrio do ecossistema.

destruição do ambiente são mais fáceis de perceber, mas não podemos esquecer das perdas que afetam os ecossistemas aquáticos, que também dependem desses ambientes terrestres

A resolução nº 357/2005 do **Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)** preocupa-se com a qualidade da água estabelecendo diferentes parâmetros, como oxigênio dissolvido e turbidez, e valores aceitáveis para corpos d'água de forma que seja possível a sobrevivência dos organismos.

Por outro lado, as **Áreas de Preservação Permanente (APPs)** são uma estratégia governamental para preservar as áreas de vegetação nativa próxima aos riachos, limitando o uso do solo que é um fator altamente prejudicial aos ecossistemas aquáticos (Figura 3).

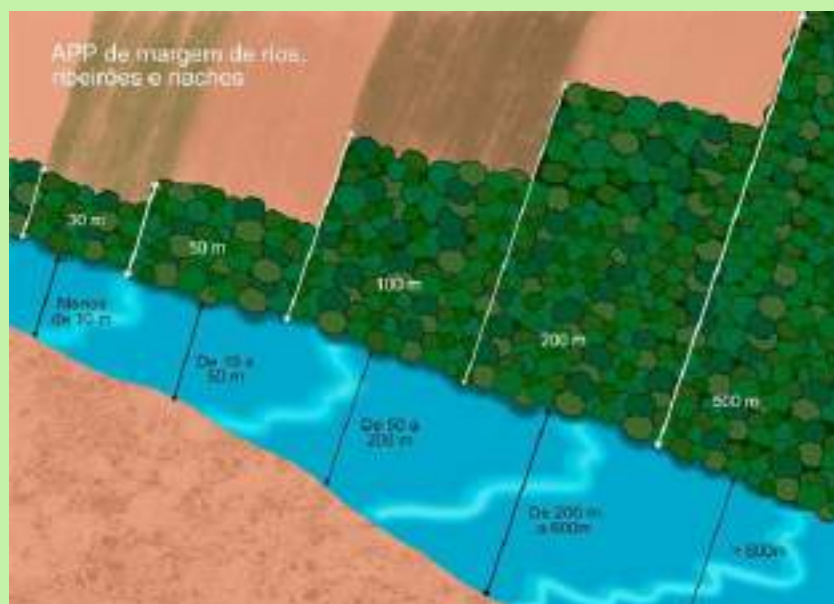


Figura 3: Diferentes tamanhos das Área de Preservação Permanente em relação ao tamanho do corpo d'água.

Fonte: <https://www.chiaviniesantos.com/o-que-e-area-de-preservacao-permanente-app/>.

Existem dificuldades quanto ao tamanho da área delimitada para uma APP, uma vez que elas existem tanto em locais particulares quanto públicos e o tamanho único definido atualmente não é suficiente para proteger de forma apropriada os variados riachos e evitar a perda de habitat e de espécies aquáticas.

Ainda que não sejam suficientes, as medidas e leis desenvolvidas a fim de preservar a vida natural são essenciais, sendo um dever cidadão lutar pelas melhorias a fim de que cumpram esse objetivo, inclusive incentivando o desenvolvimento de projetos para que as APPs considerem o contexto regional e local e qual seria a área mais adequada para delimitar.

Como o desmatamento e os usos da terra prejudicam o ecossistema aquático?

As mudanças do uso da terra próxima aos riachos para atividades agrícolas, pecuária, mineração e urbanização causam mudanças ambientais que afetam os riachos, causando a perda de biodiversidade, da heterogeneidade ambiental e da integridade dos corpos d'água (Figura 4).

Uma área desmatada tem mais risco de sofrer com assoreamento devido a **maior entrada de sedimentos**, além da **maior quantidade de nutrientes e contaminantes** que podem inclusive contribuir para a eutrofização do riacho – especialmente em locais urbanos. O impacto das ações humanas altera características dos ecossistemas aquáticos, como a temperatura e o potencial hidrogeniônico (pH), que podem resultar na perda de habitats e espécies, prejudicando toda a estrutura do ecossistema.

Uma forma de recuperação das áreas é o **reflorestamento**, porém, até mesmo com essa ação, existe o risco de uma má execução em que as espécies nativas são substituídas por espécies exóticas que não são capazes de prover os materiais necessários para o funcionamento da comunidade.



Figura 4: Riacho afetado pelo desmatamento.
Fonte: Arquivo LABECO.

As **atividades agrícolas**, por exemplo, prejudicam os riachos ao aumentar a quantidade de nutrientes na água, provenientes de fertilizantes e agrotóxicos. Além disso, essas atividades contribuem para a perda de vegetação nas margens, alterando importantes variáveis físico-químicas, como o pH, a condutividade e o oxigênio dissolvido. Na **pecuária**, a remoção da vegetação ripária provoca o aumento da temperatura da água e a diminuição do oxigênio dissolvido, além de alterações nas condições físico-químicas devido ao impacto das fezes do gado. A **mineração**, por sua vez, pode acelerar a erosão, aumentando o risco de assoreamento e turbidez da água.

Em muitas áreas, os impactos causados por diferentes formas de uso da terra se combinam, intensificando a degradação

dos ecossistemas aquáticos e resultando em mudanças ambientais, além da perda de recursos naturais essenciais, como água potável e peixes, que são fonte de alimento para muitas comunidades.

Vale ressaltar que essas modificações e perdas, que são facilmente observadas em ecossistemas terrestres, nem sempre são tão evidentes nos ecossistemas aquáticos. Em alguns casos, os efeitos das atividades humanas insustentáveis na qualidade ambiental só começam a ser percebidos nas populações de peixes após a perda de cerca de 40% da vegetação nas margens dos riachos.

O efeito da paisagem para os riachos amazônicos

O **Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO)**, da Universidade Federal do Pará (UFPA), campus Guamá (Belém, PA), realiza pesquisas focadas na **biodiversidade aquática amazônica**, com o objetivo de contribuir para sua conservação e preservação. O foco é aprofundar o conhecimento sobre os ecossistemas aquáticos da região e ajudar na criação de estratégias eficazes de proteção ambiental.

Para compreender os impactos do uso da terra sobre a heterogeneidade ambiental, a riqueza de espécies e a diversidade funcional, são utilizados métodos específicos para a análise dos riachos, que seguem uma série de etapas bem definidas.

O procedimento adotado divide cada riacho em uma seção de 150 metros, subdividida em 10 segmentos de 15 metros. Além disso, é fundamental identificar os tipos de uso da terra e da vegetação na área de estudo, para estabelecer relações entre esses fatores e as características observadas no ecossistema

O estudo apresentado aqui foi realizado na **Bacia do Acará-Capim**, localizada no Nordeste do Estado do Pará. Nessa bacia, observam-se diversos tipos de uso da terra, como **floresta primária**, **floresta secundária**, agricultura, pastagem e solo exposto.

A **floresta primária**, também chamada de floresta clímax ou mata virgem, é um ecossistema que se desenvolveu sem qualquer intervenção humana, preservando suas características naturais ao longo do tempo. Essas florestas possuem uma rica biodiversidade e uma estrutura complexa e equilibrada, com árvores de diferentes idades e uma grande variedade de espécies de fauna e flora. Elas são ecossistemas maduros, com pouca ou nenhuma degradação do solo e uma dinâmica ecológica estável, em que as relações entre os organismos são sustentadas por processos naturais.

Por outro lado, a **floresta secundária** é aquela que sofreu algum tipo de impacto humano, como desmatamento, queimadas ou exploração madeireira, mas que passou ou está passando por um processo de regeneração natural. A regeneração ocorre com o tempo, onde plantas pioneiras e outras espécies vão se estabelecendo novamente, restaurando gradualmente a vegetação original. No entanto, a floresta secundária pode ter uma composição de espécies diferente da floresta primária e pode não atingir a mesma diversidade e estrutura ecológica de um ecossistema intocado, dependendo de fatores como o tempo de regeneração e a intensidade da degradação.

As **florestas primárias** apresentam uma vegetação mais rica e diversificada (Figura 5), incluindo árvores de grande porte, o que contribui para a **heterogeneidade da paisagem**. Por isso, os riachos localizados em áreas com maior cobertura de floresta primária tendem a apresentar uma maior diversidade ambiental, além de uma maior riqueza de espécies e diversidade funcional.

Isso ocorre devido à variedade de recursos oferecidos pela floresta, como frutos, galhos, folhas e invertebrados, que servem como alimento, abrigo e locais de reprodução para diferentes espécies. Esses recursos atendem às necessidades de uma ampla gama de organismos, possibilitando sua coexistência. Adicionalmente, a proteção proporcionada pela floresta contra o

assoreamento ajuda a preservar a estrutura natural dos riachos, garantindo condições ideais para a ocupação pelos peixes.



Figura 5: Riacho em área de floresta primária.

Fonte: Arquivo LABECO.

Por outro lado, a **floresta secundária** apresenta uma maior proporção de plantas jovens, mudas, árvores de baixa estatura e arbustos, uma vez que ainda está em processo de **sucessão ecológica**. Esse processo, que pode levar várias décadas, ocorre em estágios sucessivos, cada um com maior complexidade e diversidade. Inicialmente, após a perda da floresta primária, o solo fica exposto, e surgem as gramíneas, que dão início ao

desenvolvimento da vegetação, passando por diferentes estágios até que o ambiente se assemelhe novamente à floresta primária.

Os riachos situados em áreas de floresta secundária (Figura 6) foram impactados pela perda da vegetação original, sofrendo com o assoreamento, que os tornou mais rasos e gerou uma **homogeneidade ambiental** devido à predominância de um único tipo de substrato. Isso dificulta o sustento de uma grande diversidade de espécies e limita o espaço funcional disponível. Embora a riqueza de espécies possa ser observada, a abundância de organismos não está necessariamente associada a uma variedade de espécies com funções ecológicas distintas.

Ainda assim, à medida que a floresta secundária se desenvolve, espera-se um aumento gradual da heterogeneidade ambiental. Nesse sentido, é fundamental adotar medidas protetivas para garantir que o ecossistema aquático tenha condições de se recuperar e manter sua funcionalidade.



Figura 6: Riacho em área de floresta secundária.
Fonte: Arquivo LABECO.

Nos riachos localizados em áreas de **pastagem ou agricultura**, observa-se um aumento no fluxo de nutrientes, devido a uso de agrotóxicos e herbicidas, além de um maior acúmulo de sedimentos. Esses dois fatores contribuem para a **homogeneização ambiental**, uma vez que os recursos disponíveis para os organismos ficam mais limitados, e os parâmetros da água se alteram, comprometendo sua qualidade.

Essas mudanças podem acarretar uma série de consequências, especialmente porque algumas espécies de peixes, que fazem parte da comunidade aquática, são altamente sensíveis às variações nas condições ambientais. Como resultado, elas podem perder seu habitat natural, e, conseqüentemente, essas espécies podem desaparecer da região.

O Centro de Pesquisas em Agricultura Sintrópica (CEPEAS) realiza pesquisas acerca da agricultura sintrópica, desenvolvida pelo pesquisador e agricultor suíço Ernst Götsch. Clique [aqui](#) para assistir um vídeo acerca da sucessão natural e como o processo de degradação ambiental afeta o solo devido às atividades que ocasionam perda de vegetação.

Variações na diversidade funcional de peixes de riachos amazônicos

Ao estudar as comunidades naturais, podemos adotar duas abordagens principais: a **abordagem taxonômica** e a **abordagem funcional**. A abordagem taxonômica foca nos nomes dos táxons, como, por exemplo, a diversidade de espécies presentes na comunidade. Já a abordagem funcional está relacionada às funções que essas espécies desempenham no ambiente, considerando seus papéis ecológicos e interações dentro do ecossistema.

Os estudos sobre os efeitos antrópicos nos peixes de riachos amazônicos destacam variações na **diversidade funcional**, ou seja, nas características das espécies relacionadas às suas funções no

ecossistema aquático. Essas características influenciam a resposta dos organismos às condições ambientais, como as estratégias alimentares ou a morfologia adaptada de cada espécie.

Alterações no habitat local, decorrentes dos diferentes usos da terra, podem favorecer certos **grupos funcionais**, especialmente aqueles cujas características os tornam mais tolerantes a essas mudanças e capazes de sobreviver. Assim, grupos funcionais que anteriormente faziam parte do ecossistema aquático podem ser perdidos, resultando em uma redução da diversidade funcional.

Os **grupos funcionais** agregam espécies com as mesmas características (ou atributos/traços funcionais) e respostas às condições ambientais, por exemplo, espécies que utilizam da mesma estratégia para conseguir alimento.

Na pesquisa realizada na região da **bacia Acará-Capim**, no Nordeste do Pará (Figura 7), as coletas de peixes de riacho foram feitas entre 2012 e 2015, durante a estação seca, considerada a mais adequada para essa captura, pois o volume de água no riacho é menor, facilitando a amostragem das espécies. A coleta foi realizada com redes de mão circulares de malha metálica (Figura 8). Os peixes capturados foram anestesiados com uma dose letal para serem levados ao laboratório, onde foram identificados até o nível de espécie, e tiveram suas medidas morfométricas registradas, além de dados sobre alimentação e hábitos de vida sendo coletados.

Os resultados do estudo indicaram que os riachos localizados em áreas com **maior heterogeneidade ambiental** favorecem grupos funcionais de peixes com melhores habilidades de natação, maior especialização na busca por alimento e comportamentos de cuidado parental.



Figura 7: Localização das áreas de estudo na bacia Acará-Capim, no estado do Pará. Os pontos em branco são os riachos amostrados.
 Fonte: Cantanhêde e Montag (2024).



Figura 8: Coleta com o método de rede de mão utilizado para captura de peixes em riachos..
 Fonte: Arquivo LABECO.

As espécies associadas a locais de alta heterogeneidade ambiental foram o pequeno bagre *Denticetopsis epa*; os pequenos peixes elétricos *Brachyhypopomus bullocki*, *Gymnotus* gr. *pantherinus* e *Gymnotus* gr. *coropinae* (Figura 9); o peixe canivete *Characidium* cf. *etheostoma*; e a piaba *Iguanodectes rachovii*, as quais, em sua maioria, compartilham o **traço funcional** de consumir insetos de origem alóctone (alimento de fora do riacho). Esse padrão reflete a relação entre a vegetação adjacente e o ecossistema aquático, uma vez que são os materiais fornecidos pela vegetação (como folhas e galhos) que atraem os insetos para o local, em busca de alimento, abrigo e locais de reprodução.

Além disso, um grupo funcional analisado compartilhou atributos importantes, como a orientação da boca — com bocas maiores, associadas à dieta dessas espécies, que inclui peixes e insetos —, alta capacidade de natação e a presença de **cuidado parental**.

O **cuidado parental** está associado ao comportamento de espécies voltadas ao cuidado da prole a fim de garantir a sobrevivência dos indivíduos, como o preparo do local para desova e o acompanhamento do ser nos primeiros momentos de vida.



Figura 9: Exemplar de uma espécie de peixe elétrico *Gymnotus*.

Fonte: Barbosa et al., 2024.

Em um **habitat de alta heterogeneidade ambiental** (Figura 10), há uma variedade de recursos alimentares disponíveis, o que favorece a presença de peixes com diferentes tamanhos de boca.

Esse tipo de ambiente também é caracterizado por uma variedade de materiais no canal, incluindo grandes troncos de madeira. Nesse contexto, é essencial que os peixes possuam a capacidade de nadar em correntezas fortes e fracas, permitindo-lhes transitar com facilidade pelo riacho. Além disso, os materiais presentes no ambiente são fundamentais para espécies que exibem cuidado parental, pois fornecem locais de refúgio e reprodução, especialmente para aquelas com desovas pequenas.



Figura 10: Riacho demonstrando a heterogeneidade ambiental.
Fonte: Arquivo LABECO.

Portanto, habitats que perderam sua heterogeneidade ambiental devido a ações antrópicas e estão passando por processos de sucessão ecológica necessitam de proteção para que possam atingir estágios mais avançados. Isso permitirá que esses habitats ofereçam novamente uma diversidade de materiais ao ecossistema aquático, favorecendo a diversidade funcional como consequência do aumento da heterogeneidade ambiental.

Em um outro estudo, realizado na região da **bacia do Rio Capim**, foi constatado que a maior parte do uso do solo ainda é composta por floresta primária, seguida por áreas de floresta secundária, também conhecidas como florestas em regeneração. No entanto, a região tem enfrentado uma crescente transformação de seus ambientes naturais em áreas voltadas para atividades humanas, como a **silvicultura** – plantações de eucalipto (*Eucalyptus* sp.), agricultura, mineração e criação de pastagens.

A **silvicultura** é uma atividade voltada para o cultivo de recursos florestais com o objetivo de fornecer matéria-prima para fins comerciais, como a madeira de eucalipto.

Essas informações, combinadas com dados sobre variáveis físico-químicas da água dos riachos, como concentração de oxigênio dissolvido e turbidez, além dos traços funcionais das espécies de peixes, foram utilizadas para analisar como o uso da terra impacta os habitats e a sua biodiversidade. O estudo buscou compreender as relações entre as alterações nos ambientes naturais e a composição dos grupos funcionais, as características estruturais dos organismos e seus hábitos de vida.

Nesta pesquisa, os pesquisadores capturaram 9.325 peixes, representando 69 espécies diferentes de peixes e foram organizadas em 13 **grupos tróficos funcionais**. A composição desses grupos foi influenciada pelas mudanças no habitat e pelos diferentes usos da terra na região.

Habitat com altas concentrações de oxigênio dissolvido e talvegue mais profundo demonstrou ser favorável para **peixes diurnos que se alimentam à deriva no canal**, como as piabas *Bryconops* sp. (Figura 11) e *Iguanodectes rachovii*. Esses peixes se beneficiam de ambientes em que podem capturar alimento na superfície da água, especialmente em riachos com fluxo variável ou correnteza intensa.

O **talvegue** é a porção mais funda do leito do rio, ou seja, do caminho que o rio percorre.



Figura 11: Exemplares de *Bryconops rheorubrum*.
Fonte: Silva-Oliveira et al. 2019; Foto Leandro Sousa.

Por outro lado, essas mesmas características de habitat foram desfavoráveis para **peixes diurnos catadores na superfícies**, como os peixes lápis da família Lebiasinidae (Figura 12), e para **peixes escavadores**, como os acarás do gênero *Apistogramma* e *Satanoperca jurupari*. Essas espécies preferem áreas mais rasas, que oferecem abrigo e maior facilidade para capturar alimento.

Curiosamente, essas espécies acabam sendo favorecidas em **habitats impactados por atividades humanas**, como a remoção da

vegetação adjacente. Esses ambientes frequentemente apresentam maior acúmulo de sedimentos no leito do rio e menores concentrações de oxigênio dissolvido, características que essas espécies conseguem tolerar bem.

Os peixes escavadores, em particular, se destacam como potenciais **bioindicadores** de condições ambientais degradadas, associadas ao uso da terra para atividades humanas, como agricultura e mineração.



Figura 12: Exemplar do peixe lápis *Copella arnoldi*.
Fonte: Barbosa et al., 2024.

Peixes diurnos que se alimentam à deriva em áreas de remanso estão positivamente associados a **habitats ricos em abrigos** e são negativamente impactados pelo uso intensivo da terra. Esses peixes dependem de águas mais calmas para capturar alimento, aproveitando recursos que flutuam próximo às margens do riacho, como pequenos invertebrados. Esses invertebrados, por sua vez, são atraídos por materiais que oferecem abrigo, como troncos, folhas e galhos acumulados na água. A degradação do habitat, com a remoção de vegetação e estruturas naturais, reduz a disponibilidade desses recursos e afeta diretamente essas espécies.

Por outro lado, os **peixes predadores por emboscada e perseguição**, como as espécies de jacundá *Crenicichla* sp. e jejus *Erythrinus erythrinus* (Figura 13), foram favorecidos em **habitats com alta densidade de dossel**. A presença de uma cobertura vegetal densa proporciona a queda de folhas, galhos e outros materiais que criam abrigos naturais. Esses elementos são

essenciais para que esses predadores se camuflagem e aguardem o momento ideal para atacar suas presas, aproveitando a estrutura do ambiente para executar emboscadas eficazes.

O **dossel** é a cobertura originada pelas copas das árvores ao se encontrarem.



Figura 13: Exemplar de jeju *Erythrinus erythrinus*.

Fonte: Barbosa et al., 2024.

Uma forma de avaliarmos a diversidade funcional é através das medidas corporais (Figura 14) em relação aos comportamentos dos peixes, como alimentação, deslocamento e estratégias de fuga ou captura de presas. Essa abordagem é conhecida como **ecomorfologia**.

Estudos já têm mostrado que as características ecomorfológicas das comunidades de peixes são mais influenciadas pelas alterações no habitat do que diretamente pelo uso da terra. Entre os **atributos ecomorfológicos** mais relevantes estão a largura da boca, a altura e a área da nadadeira peitoral, além do comprimento do pedúnculo caudal. Esses traços estão diretamente relacionados à eficiência dos peixes em explorar recursos, se locomover e sobreviver em diferentes condições ambientais.

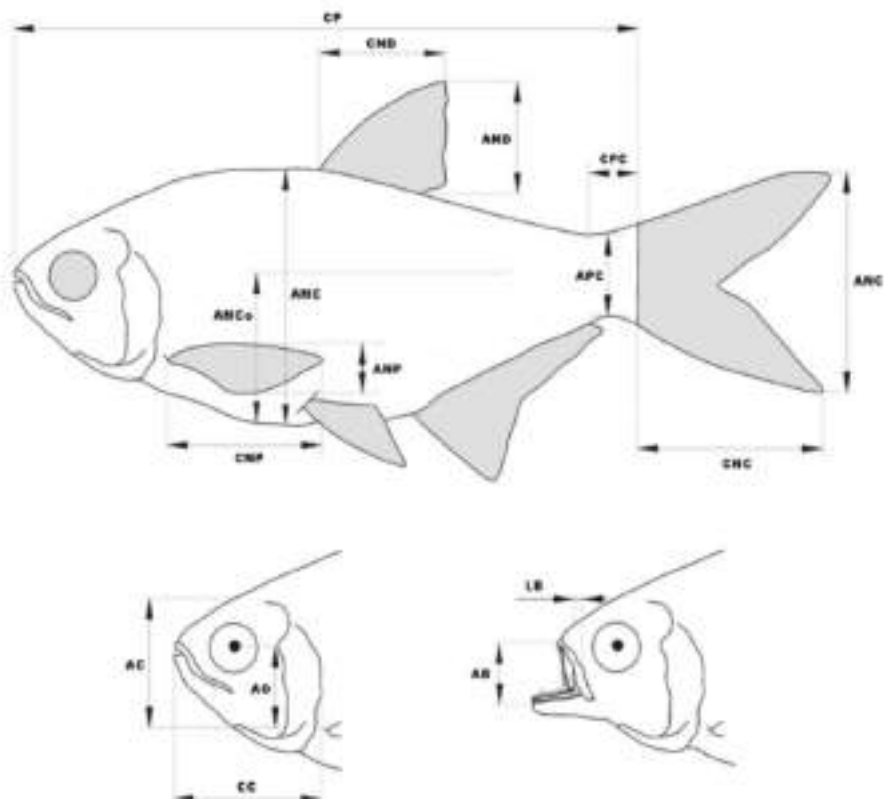


Figura 14: Medidas morfológicas tomadas dos exemplares de peixes para determinação dos padrões ecomorfológicos: comprimento padrão (CP), altura máxima do corpo (AMC), altura mediana do corpo (AMCo), comprimento do pedúnculo caudal (CPC), altura do pedúnculo caudal (APC), comprimento da cabeça (CC), altura da cabeça (AC), altura do olho (AO), altura da boca (AB), largura da boca (LB), comprimento da nadadeira dorsal (CND), altura da nadadeira dorsal (AND), comprimento da nadadeira caudal (CNC), altura da nadadeira caudal (ANC), comprimento da nadadeira peitoral (CNP), altura da nadadeira peitoral (ANP).

Fonte: Klug et al., 2017.

Por exemplo, **peixes com maior comprimento do pedúnculo caudal**, como os peixes elétricos *Hypopygus lepturus* (Figura 15) e *Steatogenys duida*, demonstram uma **grande capacidade de adaptação** a diferentes tipos de habitat, tanto em ambientes com alta densidade de dossel quanto em áreas com

pastagem e predominância de gramíneas. Essa adaptação se deve à sua habilidade de viver em locais com alto fluxo de água, como aqueles com grande presença de gramíneas, além da capacidade de se esconder e se camuflar em áreas com muitos materiais de abrigo, típicos de habitats com densidade elevada de vegetação. Esses peixes podem ficar quase imóveis, utilizando sua camuflagem para evitar predadores.



Figura 15: Exemplar de peixe elétrico *Hypopygus lepturus*.

Fonte: https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/424534.

Nos estudos realizados na bacia do rio Capim, os pesquisadores observaram que **habitats com talvegue profundo e altas concentrações de oxigênio** foram favoráveis para **peixes com boca relativamente larga**, como os bagres folhas da família Cetopsidae, *Denticetopsis epi* e *Helogenes marmoratus* (Figura 16). A elevada concentração de oxigênio beneficia essas espécies por exigências fisiológicas. Elas exploram remansos ou áreas próximas à superfície, onde o alimento, como pequenos invertebrados, pode ser transportado pela correnteza ou cair naturalmente no riacho. A profundidade do talvegue também favorece essas espécies, pois elas podem ficar paradas, aguardando o alimento que é levado pela correnteza, aproveitando as condições do ambiente para se alimentar de forma eficiente.



Figura 16: Exemplar de bagre folha *Helogenes marmoratus*.

Fonte: Barbosa et al., 2024.

Essas condições ambientais também favorecem espécies de **peixes com maior altura do corpo**, como as piabas do gênero *Hemigrammus* sp. (Figura 17) e o peixe borboleta *Carnegiella strigata*; além de **peixes com nadadeiras peitorais grandes**, como os acaris do gênero *Rineloricaria* e o bagrinho *Rhamdia muelleri*. Essas espécies exploram a superfície do riacho e diversos microhabitats em busca de macroinvertebrados bentônicos e peixes pequenos. Esse comportamento é favorecido por um ecossistema complexo, que oferece uma variedade de materiais provenientes da vegetação ripária, fornecendo abrigo e recursos alimentares essenciais para a sobrevivência dessas espécies.



Figura 17: Exemplar de piaba *Hemigrammus rhodostomus*.

Fonte: Barbosa et al., 2024.

Ambas as características estão associadas a **ambientes preservados**, pois a vegetação ripária desempenha um papel

crucial na prevenção da entrada excessiva de sedimentos no leito do rio. A presença dessa vegetação ajuda a manter o fluxo de água e a concentração de oxigênio, além de evitar a redução do talvegue, que poderia tornar o riacho cada vez mais raso. Dessa forma, destaca-se a importância de preservar a vegetação adjacente aos riachos, a fim de manter as condições naturais do habitat e prevenir a perda de recursos essenciais para as espécies aquáticas.

Em uma outra pesquisa, que envolveu a amostragem de 63 riachos da **bacia do Rio Capim** entre 2012 e 2018, teve como objetivo **simular cenários de extinção** relacionados à perda de habitat e avaliar seus efeitos nos ecossistemas de riachos amazônicos. A **perda de habitat** ocorre quando ambientes naturais são transformados em áreas destinadas a atividades humanas, como agricultura e pastagens (Figura 18). Essa mudança resulta na incapacidade do ambiente de fornecer as condições e recursos necessários para que algumas espécies da comunidade aquática possam sobreviver, afetando diretamente a biodiversidade local.



Figura 18: Fazenda de gado na bacia do rio Capim.
Fonte: Arquivo LABECO.

Algumas espécies de peixes são mais **tolerantes** a certas alterações ambientais e conseguem se adaptar a diferentes habitats, o que as torna menos propensas à extinção. No entanto, existem

outras que dependem de recursos específicos para alimentação e reprodução, tornando-as altamente **vulneráveis** à extinção

Além disso, é importante destacar que as espécies desempenham funções distintas no ecossistema aquático. Quando espécies vulneráveis, que desempenham funções raras, se extinguem, o impacto no ambiente é ainda mais negativo. Isso ocorre porque não há outras espécies na comunidade capazes de compensar essa função perdida, o que pode causar mudanças profundas na estrutura do ecossistema.

Em escala local, a simulação da extinção total de espécies vulneráveis mostrou uma drástica **redução da diversidade funcional**. Isso ocorre porque as espécies tolerantes geralmente apresentam características funcionais semelhantes, que, em sua maioria, não são as mesmas fornecidas pelas espécies vulneráveis. Como resultado, algumas funções do ecossistema são extintas junto com as espécies, alterando completamente o funcionamento do ambiente. Em escala regional, embora a perda de diversidade não seja tão perceptível ao longo da simulação, a extinção das espécies vulneráveis resulta em uma redução abrupta na diversidade funcional, com os habitats passando a ser dominados por espécies com funções redundantes.

Em suma, os estudos realizados pelo **LABECO** destacam a estreita conexão entre os ecossistemas aquático e terrestre, evidenciando como impactos antrópicos decorrentes do uso da terra podem modificar profundamente os riachos amazônicos. Os cenários simulados nos estudos demonstram como a perda da vegetação ripária, que atua como proteção natural para o leito do rio, resulta em mudanças significativas na estrutura do canal e nas condições do habitat aquático. Além disso, essas transformações têm efeitos drásticos sobre a comunidade de peixes, com a perda de grupos funcionais chave e o aumento do risco de extinções. Esse cenário desencadeia um choque no funcionamento do ecossistema, afetando sua integridade e capacidade de fornecer serviços essenciais, como o ciclo de nutrientes e a estabilidade da biodiversidade.

E qual a importância disso?

O **desmatamento na Amazônia** tem se intensificado ao longo dos anos, transformando paisagens de exuberantes florestas com um dossel imponente e habitats ricos em biodiversidade, em cenários de degradação. As áreas antes cobertas por floresta nativa agora dão lugar às queimadas, pastagens, atividades agrícolas e mineradoras, colocando em risco não apenas a natureza, mas também a própria sobrevivência de diversas espécies (Figura 19).

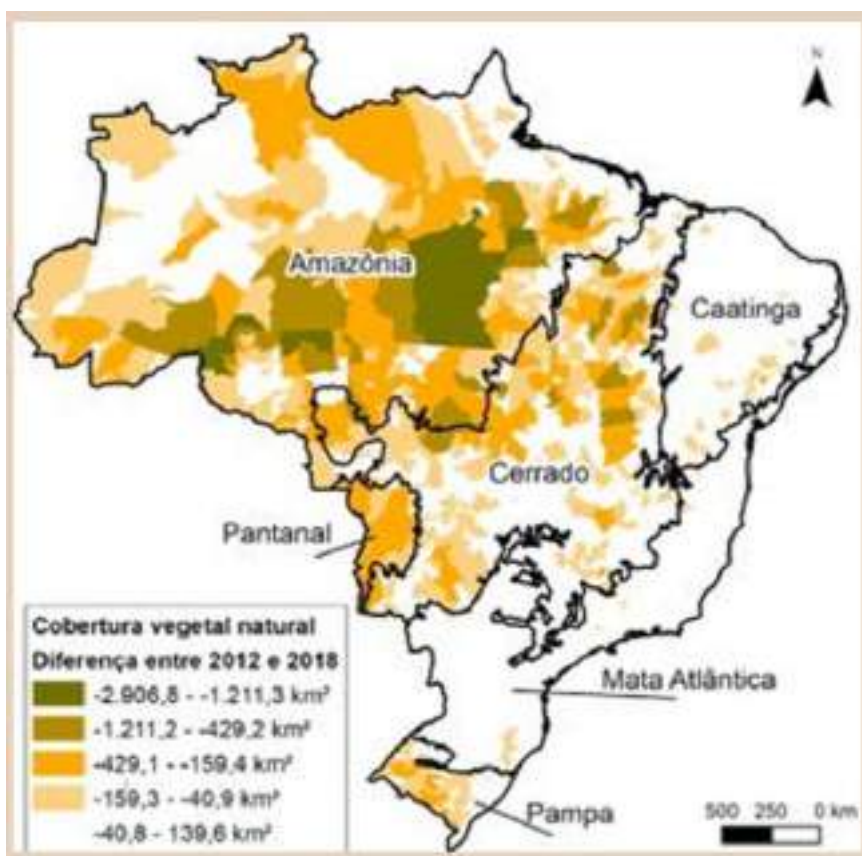


Figura 19: Redução da cobertura vegetal natural no território brasileiro entre 2012 e 2018, com perda de cerca de 110 mil km².

Fonte: Coelho, Côrrea, 2022.

As mudanças ambientais decorrentes de atividades antrópicas, como agricultura e pastagem, geram uma série de modificações na estrutura dos ecossistemas aquáticos. A **degradação de habitats** complexos, que são essenciais para a coexistência de diversas espécies, tem um impacto alarmante sobre a biodiversidade. A perda desses habitats limita o acesso a fontes de alimento, abrigos e locais de reprodução, favorecendo apenas certos grupos tróficos funcionais. Isso leva à redução da diversidade funcional nos riachos amazônicos, comprometendo a resiliência e o equilíbrio do ecossistema.

Considerando que algumas espécies demoram a apresentar respostas às alterações nas condições ambientais provocadas pelo desmatamento, devido ao processo de homogeneização do habitat, é fundamental entender e prever as possíveis consequências de atividades antrópicas, além de desenvolver estratégias para mitigá-las.

Pesquisas voltadas para compreender as condições ambientais que melhor favorecem a biodiversidade são essenciais para elaborar medidas de preservação e estabelecer políticas fiscalizadoras para o uso da terra. Estudos sobre espécies de peixes, especialmente as mais sensíveis às variações ambientais, podem servir como bioindicadores e contribuir significativamente para o **biomonitoramento de riachos amazônicos**, permitindo uma avaliação da situação do habitat com base nos grupos funcionais presentes.

As respostas geradas por essas pesquisas podem, assim, indicar mudanças ambientais e orientar projetos de preservação, conservação e restauração, focando em áreas prioritárias ou em espécies cujas extinções provocariam impactos negativos elevados no habitat. Essas ações visam garantir a sobrevivência das espécies que compõem o ecossistema, mantendo seu equilíbrio e funcionalidade.

Entender a extensão do risco para os ecossistemas aquáticos é importante para fomentar a luta por melhores medidas

governamentais em questões ambientais, favorecendo a proteção do meio natural e não de interesses econômicos que conduzem à exploração e degradação. Você é uma peça valiosa nessa luta por direitos humanos e ambientais, seja conscientizando pessoas ou pesquisando nas universidades!

Referências

A REGENERAÇÃO PELO USO - EPISÓDIO 2 - A sucessão natural como ferramenta - PARTE 1. [S.l.]: **CEPEAS**, 2023. 1 vídeo (23 min 20 segundos). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=w4muCSVw4Hs>. Acesso em: 20 nov. 2024.

BARBOSA, T. A. P., et al. The ichthyofauna of the Potiritá River basin: assessing the conservation status in a mining area in the Eastern Amazon. **Acta Limnologica Brasiliensia**, vol. 36, n. 31, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2179-975X4623>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/alb/a/MYjTCxrgG9b3LZQJSNVGYtS/?lang=en>. Acesso em: 11 dez. 2024.

BRASIL, Ministério de Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 31 de 17 de março de 2005**. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=102255>. Acesso em: 24 mai. 2024.

CATANHÊDE, L. G.; MONTAG, L. F. A. Effects of deforestation on environmental heterogeneity and its role in the distribution of fish species and functional groups in Amazonian streams. **Hydrobiologia**, vol. 851, pp. 327–341, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05201-x>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-023-05201-x>. Acesso em: 07 nov. 2024.

COLARES, L. F.; MONTAG, L; F; A;; DUNCK, B. Habitat loss predicts the functional extinction of fish from Amazonian streams during the Anthropocene. **Science of The Total Environment**, vol. 838, part 2, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156210>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-023-05201-x>. Acesso em: 13 nov. 2024.

COELHO, H. A.; CORRÊA, A. A. (Coord.). Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de qualidade do meio ambiente**. [recurso eletrônico]: RQMA. Brasília, DF: IBAMA, 2022.

DALA-CORTE, R. B.; et al. Thresholds of freshwater biodiversity in response to riparian vegetation loss in the Neotropical region. **Journal of Applied Ecology**, vol. 57, n. 7, pp. 1391-1402, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13657>. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.13657>. Acesso em: 20 nov. 2024.

KLUG, J. E.; et al. Continue a nadar, continue a nadar: padrões ecomorfológicos de peixes de riacho em diferentes ambientes. In: FREITAS, R. F.; et al. (Org.). **Ecologia de Campo: Serra e Litoral Catarinense**. Florianópolis: PPG Ecologia/UFSC. 2017.

MAIA, C.; et al. Fish functional responses to local habitat variation in streams within multiple land uses areas in the Amazon. **Neotrop. ichthyol.**, vol. 20, n. 04, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2022-0091>. Disponível em: <https://www.science-direct.com/science/article/abs/pii/S0048969722033071?via%3Dihub>. Acesso em: 07 nov. 2024.

PASSOS, A. L. L.; MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA FILHO, E. C. Critérios para avaliação da qualidade de água no Brasil: um questionamento sobre os parâmetros utilizados. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v.

7, n. 2, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2018v7i2.p290-303>. Disponível em: <http://periodicos.unievangelica.edu.br/fronteiras/>. Acesso em: 24 mai. 2024.

PEIXES de feiras livres da Região Norte estão contaminados por mercúrio. **Greenpeace Brasil**. 2023. Disponível em: <https://www.greenpeace.org/brasil/blog/peixes-vendidos-em-mercados-publicos-e-feiras-livres-da-regiao-norte-estao-contaminados-por-mercuro/#:~:text=Peixes%20pesquisados&text=Entre%20elas%2C%20estavam%20esp%C3%A9cies%20com,286%20on%C3%ADvoros%20e%20484%20carn%C3%ADvoros>. Acesso em: 21 nov. 2024.

PIEREZAN, M. D.; HOFF, R. B.; MARSICO, E. T.; VERRUCK, S. Total mercury and methylmercury levels in Brazilian Amazon fish: A scope review with meta-analysis and local population health risk assessment. **Journal of Trace Elements and Minerals**, VOL. 10, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2024.100196>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773050624000818?via%3Dihub>. Acesso em: 21 nov. 2024.

RAPOSO, C. Peixes contaminados com mercúrio colocam saúde da população amazônica em risco, indica estudo. **Notícias da UFSC**. 2024. Disponível em: <https://noticias.ufsc.br/2024/11/peixes-contaminados-com-mercuro-colocam-saude-da-populacao-amazonica-em-risco-indica-estudo/>. Acesso em: 21 nov. 2024.

SILVA-OLIVEIRA, C.; et al. *Bryconops rheorubrum* (Characiformes: Iguanodectidae), new species from the Rio Xingu Rapids, Brazil. **Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia**, vol. 166, n. 1, pp. 1-21, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1635/053.166.0115>. Disponível em: <https://bioone.org/journals/proceedings-of-the-academy-of-natural-sciences-of-philadelphia/volume-166/issue-1/053.166.0115/Bryconops-rheorubrum-Characiformes--Iguanodectidae-new->

species-from-the-Rio/10.1635/053.166.0115.short. Acesso em: 11 dez. 2024.

TERESA, F. B.; RODRIGUES-FILHO, C. A. S.; LEITÃO, R. P. DIVERSIDADE FUNCIONAL DE COMUNIDADES DE PEIXES DE RIACHO. *Oecologia Australis*, Special Issue - Ecologia de Peixes de Riacho, vol. 25, n. 2, pp. 415–432, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4257/oeco.2021.2502.12>. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/415>. Acesso em: 20 nov. 2024.

VEGETAÇÃO nativa e riachos: evitando colapsos da biodiversidade. **Programa de Pós-Graduação em Ecologia - Universidade Federal do Pará**. 2020. Disponível em: <https://ppgeco.propesp.ufpa.br/index.php/br/agenda/eventos/181-vegetacao-nativa-e-riachos-evitando-colapsos-da-biodiversidade>. Acesso em: 20 nov. 2024.

Este livro é uma coletânea de textos de divulgação científica sobre algumas das pesquisas em sínteses da biodiversidade amazônica desenvolvidas pela rede de pesquisa INCT-SinBiAm que reúne mais de 60 pesquisadores e pesquisadoras espalhados pelo Brasil e Inglaterra. Sem as florestas em pé, sem os biomas e sem a biodiversidade não há futuro possível. A defesa da biodiversidade não pode se restringir ao campo do discurso, mas precisa fazer parte do cotidiano e dos interesses de cada brasileiro e brasileira. Este livro é uma forma de aproximar as pesquisas científicas da sociedade.

