

CONSIDERAÇÕES DA
CIÊNCIA BRASILEIRA
SOBRE A
AMAZÔNIA



CONSIDERAÇÕES DA
CIÊNCIA BRASILEIRA
SOBRE A
AMAZÔNIA

2025



ACADEMIA
BRASILEIRA
DE CIÊNCIAS

MCMXVI

© Direitos autorais, 2025, de publicação, de organização, da
Academia Brasileira de Ciências
Rua Anfilóbio de Carvalho, 29 - 3º Andar
20030-060 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil
Tel: +55 (21) 2391-7802
www.abc.org.br

Isenção de Responsabilidade: As opiniões aqui publicadas
são de inteira responsabilidade de seus autores e não
refletem, necessariamente, o posicionamento da Academia
Brasileira de Ciências.

Assessoria

Marcos Cortesão Barnsley Scheuenstuhl
Vitor Vieira de Oliveira Souza

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

Considerações da ciência brasileira sobre a
Amazônia / coordenação Adalberto Luis Val. --
1. ed. -- Rio de Janeiro : Academia Brasileira
de Ciências, 2025.

Vários autores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-987542-3-5

1. Amazônia - Aspectos ambientais 2. Pesquisa
científica I. Val, Adalberto Luis.

26-332659.1

CDD-001.42

Índices para catálogo sistemático:

1. Brasil : Amazônia : Pesquisa científica 001.42

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

CONSIDERAÇÕES DA
CIÊNCIA BRASILEIRA
SOBRE A
AMAZÔNIA

Grupo de Trabalho da ABC sobre Amazônia

Adalberto Luis Val (coordenador)

Fabiano Lopes Thompson

Ima Célia Guimarães Vieira

Karen Barbara Strier

Maria Teresa Fernandez Piedade

Neusa Hamada

2025



ACADEMIA
BRASILEIRA
DE CIÊNCIAS

MCMXVI



Diretoria da ABC

Triênio 2025-2028

Presidente

Helena Bonciani Nader

Vice-Presidente

Jailson Bittencourt de Andrade

Vice-Presidentes Regionais

Norte: Adalberto Luis Val

Nordeste e Espírito Santo: Anderson Stevens Leonidas Gomes

Minas Gerais e Centro-Oeste: Mercedes Maria da Cunha Bustamante

Rio de Janeiro: Patricia Torres Bozza

São Paulo: Glaucius Oliva

Sul: Ruben George Oliven

Diretores

Diretora-Secretária-Geral: Mariangela Hungria

Diretora-Secretária Institucional: Débora Foguel

Diretor-Tesoureiro: Alvaro Toubes Prata

Diretora de Cooperação Institucional: Virginia Sampaio Teixeira Ciminelli

Diretor de Comunicação: Luiz Drude de Lacerda

Membros Institucionais da ABC

Diamante



Ouro



Prata



Bronze

Apoio



Índice

Povoamento e os processos de domesticação na Amazônia Antiga	7
<i>Denise Maria Cavalcante Gomes e Charles R. Clement</i>	
Não importa se nos territórios tradicionais ou nas cidades: da invisibilidade à resistência linguística e cultural	13
<i>Ana Carla Bruno</i>	
Biodiversidade e serviços ecossistêmicos na Amazônia	16
<i>Carlos Alfredo Joly</i>	
Água e áreas úmidas na Amazônia	21
<i>Jochen Schöngart e Wolfgang Junk</i>	
Macrófitas aquáticas na Amazônia, mudanças climáticas e antrópicas	26
<i>Aline Lopes e Thaísa Sala Michelin</i>	
Avanços e desafios nas pesquisas com epífitas vasculares na Amazônia	31
<i>Adriano Quaresma e Layon Oreste Demarchi</i>	
Mudanças climáticas na Amazônia e seus efeitos sobre os insetos aquáticos	35
<i>Leandro Juen e Renato Tavares Martins</i>	
Polinizadores, mudanças climáticas e o futuro da Amazônia	40
<i>Vera Lucia Imperatriz Fonseca e Juliana Hipólito</i>	
Espécies exóticas invasoras na Amazônia	44
<i>Luciana Carvalho Crema, Ana Luiza Castelo Branco Figueiredo, Tatiani Elisa Chapla e Nivia Glaucia Pinto Pereira</i>	
Secas na Amazônia	49
<i>Jose A. Marengo</i>	
Vulnerabilidade socioambiental e ameaças ao bioma Amazônia	53
<i>Ima Célia Guimarães Vieira e José Maria Cardoso da Silva</i>	
O impacto das mudanças climáticas na Amazônia sobre as populações originárias	58
<i>Ruben George Oliven</i>	
A mineração legal na Amazônia: uma avaliação crítica	61
<i>Roberto Dall'Agnol</i>	
Mercúrio na Amazônia: desafios e avanços	65
<i>Maria Elena Crespo-López, Letícia dos Santos Sacramento, Amanda Lopes Araújo, Caio Gustavo Leal de Nazaré, Isabela Soares da Silva, Marcus Augusto de Oliveira, Gabriela de Paula Fonseca Arrifano e Carlos Barbosa Alves de Souza</i>	
Cidade e floresta na Amazônia: vislumbrando novas urbanidades e outros horizontes	70
<i>Saint-Clair Cordeiro da Trindade Júnior</i>	

Biodiversidade e saúde na Amazônia	74
<i>Wuelton Monteiro e Fernando Val</i>	
Fortalecendo a saúde única na Amazônia: prioridades e recomendações	78
<i>Marcus V. G. Lacerda e Pedro F. C. Vasconcelos</i>	
Amazônia 2030: a sustentabilidade única como roteiro para um futuro global	83
<i>Anderson Stevens Leonidas Gomes</i>	
Gestão de risco e gestão de desastres: vulnerabilidades e capacidades de resposta nos municípios da região amazônica	87
<i>Oswaldo Luiz Leal de Moraes</i>	
O paradoxo brasileiro entre ciência oceânica e exploração de recursos naturais: em busca da estrutura e função do Grande Recife Amazônico	91
<i>Carlos E. de Rezende, Michel M. Mahiques, Eduardo Siegle, Claudia Omachi, Nils E. Asp, Ricardo Kruger, Cristiane Thompson e Fabiano Thompson</i>	
Petróleo na Margem Equatorial Brasileira	97
<i>Alvaro Toubes Prata, Jailson Bittencourt de Andrade, Beatrice Padovani Ferreira, Luiz Drude de Lacerda, Milton José Porsani, Moacyr Cunha de Araujo Filho, Segen Farid Estefen e Zelinda Margarida de Andrade Nery Leão</i>	
Capacitação de pessoal na Amazônia	100
<i>Marcio de Castro Silva Filho</i>	
Cooperação científica na Amazônia	104
<i>Emmanuel Zagury Tourinho</i>	
Financiamento da pesquisa na Amazônia	108
<i>Luiz Davidovich e Celso Pansera</i>	
A dissonância entre a ciência e a política da mudança climática	112
<i>Eduardo Viola</i>	
A relação entre ciência e política num tempo turbulento	117
<i>Renato Janine Ribeiro</i>	

Povoamento e os processos de domesticação na Amazônia Antiga

Denise Maria Cavalcante Gomes
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Charles R. Clement
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)



Introdução

A América do Sul foi o último continente ocupado durante a expansão humana no planeta. No Brasil, o sítio Santa Elina, em Mato Grosso, figura com uma das datas mais recuadas - 24 mil anos (1). Contudo, a chegada humana na bacia amazônica e suas possíveis rotas de deslocamento ainda é um tema discutido, tendo sido o sítio Caverna da Pedra Pintada, no Pará, datado em 11 mil anos (2), o mais antigo encontrado até agora. Os primeiros habitantes amazônicos não eram simples caçadores e coletores, mas manejavam a vegetação ao redor de seus assentamentos. Tal processo é chamado de domesticação da paisagem (3) e é uma parte essencial na construção de nichos culturais onde pessoas vivem bem (4).

Na transição do Pleistoceno para o Holoceno, 12-11 mil anos atrás, plantas cultivadas começaram a ser domesticadas em jardins e florestas (5,6,7). Em meados do Holoceno, os jardins se expandiram para roças (8) e as florestas manejadas ficaram cada vez mais ricas em alimentos (3,9). Isso permitiu a expansão populacional, que se acelerou ao longo do Holoceno (10). Há 3 mil anos surgiam, nos atuais estados do Acre, Rondônia e Amazonas, os construtores de geoglifos – estruturas geométricas de terra de diferentes formatos e grandes dimensões, algumas delas com até 11 ha. Ligados por estradas, os geoglifos evidenciam a capacidade de organização social destas sociedades para a execução de construções engenhosas (11,12,13). Esse ensaio sintetiza como o povoamento da Amazônia antiga, com o passar do tempo, se deu em estreita associação com a domesticação das paisagens e de plantas nativas.

Estado da Arte

No século XVI, os cronistas que acompanharam os conquistadores europeus durante as primeiras incursões na Amazônia relataram a existência de grandes populações, vivendo em grandes aldeias cercadas de pomares (14,15). Gaspar de Carvajal, cronista de Francisco de Orellana, destacou que algumas das aldeias no Baixo Amazonas eram tão grandes que se assemelhavam a cidades (14,15). Na época da conquista, a Amazônia tinha 10-20 milhões de pessoas (16,17) num bioma domesticado (18), com centenas de cultivos em jardins, roças e florestas (19).

Quando os naturalistas do século XIX chegaram à Amazônia nada disto era visível, pois 95% da população indígena havia sido dizimada (20) e os remanescentes haviam fugido para as cabeceiras (20). Esses naturalistas inventaram o mito da natureza prístina (20), que ainda hoje povoa o imaginário brasileiro. Segundo os naturalistas, a floresta amazônica – além de intocada – era povoada por pequenos grupos indígenas.

No século XX, os primeiros arqueólogos profissionais acreditaram nesse mito e negaram os relatos dos cronistas, mesmo diante de grandes sítios arqueológicos na Amazônia. Por duas décadas, a teoria do determinismo ambiental afirmou que o desenvolvimento das populações indígenas teria sido limitado por solos pobres, chuva torrencial e florestas densas (21,22), diferente de todos os outros povos do planeta. Com a chegada da ecologia histórica (23), na década de 1970, novas pesquisas arqueológicas, antropológicas e ecológicas demonstraram que as crônicas eram verdadeiras. Florestas antrópicas, como castanhais, babaçuais e açazais foram apresentadas como evidência de manejo florestal (24,25,26). Os cultivos nativos e exóticos foram inventariados e mapeados logo em seguida (5,27).

A partir da década de 1990, os avanços da arqueologia Amazônica expandiram. Sítios pequenos, médios e grandes foram mapeados ao longo dos principais rios, não só adjacentes às várzeas, mas

também em terra firme (28,29,30,31,32,33). Grandes aldeias com longas sequências de ocupação (2500-500 anos) foram mapeadas nas proximidades de Manaus, todas com solos de terra preta antropogênica, vistos como o correlato de ocupações densas e permanentes (34,35). Alguns destes sítios também são cercados por terra marrom (36,37,38), solos criados intencional e não intencionalmente (39,40,41) como resultado do manejo de restos orgânicos produzidos pelas atividades diárias nas aldeias. Esses solos ricos em nutrientes foram essenciais para as plantas cultivadas e oferecem um modelo para a produção de alimentos na Amazônia (42).

Escavações sistemáticas em diferentes partes da Amazônia demonstraram a existência de sociedades com formas de organização sociopolítica e sistemas rituais elaborados, que emergem a partir de mil anos atrás. Na Ilha de Marajó existiu um complexo de tesos residenciais e cerimoniais interligados, estes últimos com artefatos cerâmicos com sofisticada iconografia utilizados em rituais coletivos e funerários (31,43,44). Outras manifestações de rituais coletivos ocorrem nos sítios com estruturas megalíticas do Amapá (45). No Alto Xingu, grandes aldeias residenciais e outras com cultivos eram conectadas por caminhos e estradas, um conjunto chamado de cidades-jardim (46). Estes representam urbanismo de baixa intensidade, também presente nos *Llanos de Mojos*, na Bolívia (47), e no vale do rio Upano, no Equador (48).

Mas é em Santarém, no Pará, que existe o maior sítio arqueológico de terra preta antropogênica da Amazônia, de dimensões verdadeiramente urbanas, conforme comentado por Carvajal (14,15). Localizado às margens do rio Tapajós, esse sítio de formato linear é formado por duas grandes aldeias (sítios Aldeia e Porto, separados por um lago) que juntas totalizam 210 ha. Entre 1000-500 anos atrás, sua ocupação era residencial e existiu um centro cerimonial vibrante, com uma intensa atividade xamânica demonstrada pela deposição de artefatos rituais (32,33). Esse sítio integrava uma ampla sociedade regional, ocupando 23 mil km², cujas aldeias autônomas cultivaram roças diversificadas e manejaram florestas ricas em recursos (49).

A integração da arqueologia com a ecologia tem possibilitado o aproveitamento dos bancos de dados florísticos de diversos grupos brasileiros e internacionais, que detectou associações claras entre os sítios arqueológicos e a abundância e composição de árvores domesticadas em florestas (50,51). A castanha do Pará, símbolo do manejo florestal antigo, mostra essa associação mais claramente (52). Os bancos de dados demonstraram que 222 espécies arbóreas representam 50% de todas as plantas arbóreas da bacia (53) e quase todas eram usadas e manejadas pelos povos indígenas (54).

O consenso atual é que o desenvolvimento das sociedades indígenas pré-coloniais, desde os primeiros caçadores-coletores-manejadores até as formações sociais tardias de grande densidade populacional, se deu a partir de sistemas de subsistência baseados na caça, pesca, manejo, coleta de produtos florestais e cultivos mistos resultados de um longo processo de domesticação das paisagens amazônicas e suas plantas.

Recomendações

Centenas de plantas perenes amazônicas são usadas localmente e algumas possuem potencial para expandir seu uso nacional e mundialmente. Hoje, as florestas domesticadas participam da economia brasileira com a castanha e o açaí, mas a sociedade brasileira ainda considera que estas florestas valem mais quando derrubadas para o pasto e o monocultivos. O maior desafio hoje é mudar este pensamento via a expansão de uma bioeconomia com a floresta em pé (55).

- As práticas de domesticação das florestas em pé requerem reconhecimento pelas agências de P&D nacionais e estaduais para incentivar os povos indígenas e as comunidades locais a expandirem o uso dessas práticas ao redor de suas comunidades, seja para a simples subsistência ou comercialização.
- As terras devolutas ainda existentes na Amazônia precisam ter destinos que apoiem a manutenção das florestas domesticadas em pé, como Terras Indígenas, Reservas Extrativistas e Reservas de Desenvolvimento Sustentável, para garantir os direitos dos povos indígenas e comunidades locais sobre suas terras.
- As populações indígenas, quilombolas e outras tradicionais que vivem em áreas de florestas domesticadas precisam participar na elaboração de currículos escolares que reconhecem sua história, seus conhecimentos e desejos próprios, em lugar do atual currículo nacional que visa à inclusão social e que resulta na perda de seus conhecimentos (55).
- Junto com a manutenção das florestas, os sítios arqueológicos devem ser protegidos, por meio de fiscalização da legislação existente, e os conhecimentos oriundos de seu estudo compartilhado com as comunidades indígenas e tradicionais por meio de programas educativos (como produção de conteúdo escrito, audiovisual e palestras).

Referências

1. D. Vialou, M. Benabdelhadi, J. Feathers, M. Fontugne, A. V. Vialou, Peopling South America's centre: the late Pleistocene site of Santa Elina. *Antiquity* **91**, 865–884 (2017).
2. A. C. Roosevelt *et al.*, Paleoindian cave dwellers in the Amazon: the peopling of the Americas. *Science* **272**, 373–384 (1996).
3. C. Levis *et al.*, How people domesticated Amazonian forests. *Front Ecol Evol* **5**, 171 (2018).
4. M. P. Shock, C. d. P. Moraes, A floresta é o domus: a importância das evidências arqueobotânicas e arqueológicas das ocupações humanas amazônicas na transição Pleistoceno/Holoceno. *Bol Mus Goeldi Ciên Hum* **14**, 263–289 (2019).
5. C. R. Clement, 1492 and the loss of Amazonian crop genetic resources. I. The relation between domestication and human population decline. *Econ Bot* **53**, 188–202 (1999).
6. C. R. Clement, M. Cristo-Araújo, G. Coppens d'Eeckenbrugge, A. Alves Pereira, D. Picanço-Rodrigues, Origin and domestication of native Amazonian crops. *Diversity* **2**, 72–106 (2010).
7. J. Watling *et al.*, Direct archaeological evidence for Southwestern Amazonia as an early plant domestication and food production centre. *PLoS ONE* **13**, e0199868 (2018).
8. D. R. Piperno, D. M. Pearsall, *The origins of agriculture in the lowland Neotropics* (Academic Press, San Diego, 1998), pp. 400.
9. B. M. Flores, C. Levis, Human-food feedback in tropical forests. *Science* **372**, 1146–1147 (2021).
10. A. Goldberg, A. M. Mychajliw, E. A. Hadly, Post-invasion demography of prehistoric humans in South America. *Nature* **532**, 232–235 (2016).
11. S. Saunaluoma, J. Moat, F. Pugliese, E. G. Neves, Patterned villagescapes and road networks in ancient southwestern Amazonia. *Latin American Antiquity* **32**, 173–187 (2021).
12. S. Saunaluoma, M. Pärssinen, D. Schaan, Diversity of pre-colonial earthworks in the Brazilian state of Acre, southwestern Amazonia. *Journal of Field Archaeology* **43**, 362–379 (2018).
13. C. G. Pessoa da Silva (2024) Cruzando fronteiras: arqueologia das estradas no interflúvio Madeira-Purus. in *Museu de Arqueologia e Etnologia* (Universidade de São Paulo, São Paulo).

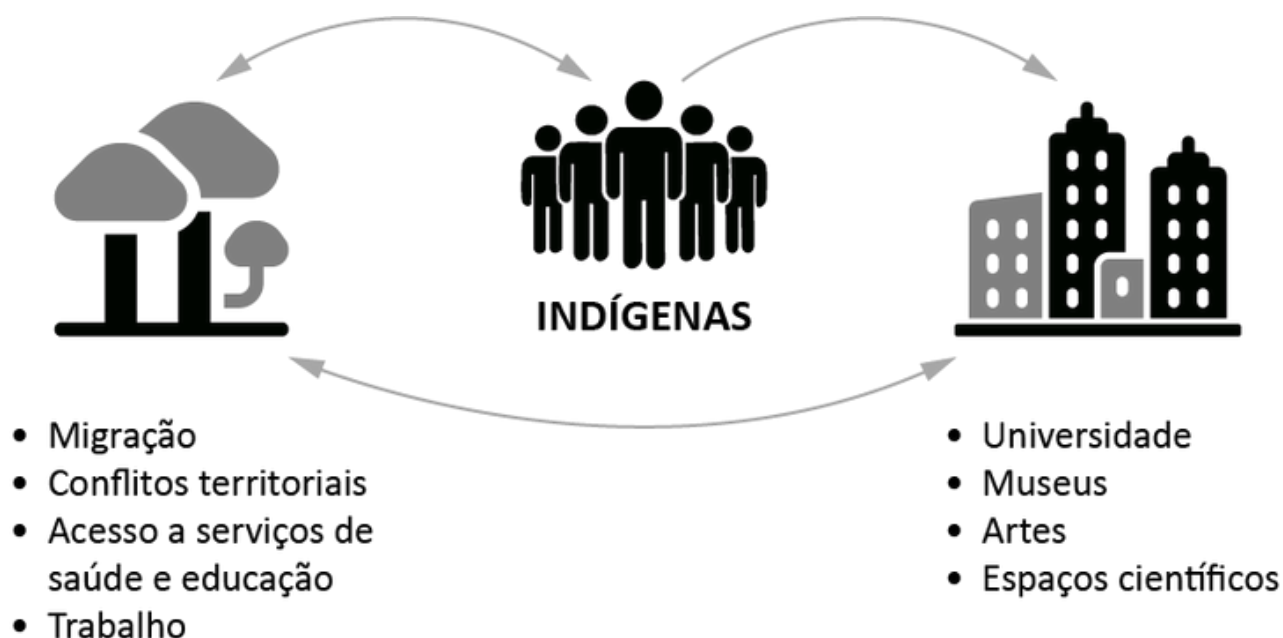
14. J. T. Medina, *The discovery of the Amazon according to the account of Friar Gaspar de Carvajal and other documents* (The American Geographical Society, New York, 1934), vol. 17.
15. G. d. Carvajal, "Relação do novo descobrimento do famoso rio grande que descobriu por grande ventura o Capitão Francisco de Orellana" in *Descobrimientos do rio das Amazonas*. (Companhia Editora Nacional, São Paulo, 1941), pp. 11–79.
16. W. I. Woods, W. M. Denevan, L. Rebellato, "Population estimates for anthropogenically enriched soils (Amazonian Dark Earths)" in *Soils, climate and society: archaeological investigations in ancient America*, J. D. Wingard, S. E. Hayes, Eds. (University Press of Colorado, Boulder, CO, 2013), pp. 1–20.
17. T. P. Myers, Spanish contacts and social change on the Ucayali River, Peru. *Ethnohistory* **21**, 135–157 (1974).
18. C. R. Clement *et al.*, The domestication of Amazonia before European conquest. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **282**, 20150813 (2015).
19. C. R. Clement, "Agrobiodiversity in Amazonia" in *Encyclopedia of Biodiversity* (Third Edition), S. M. Scheiner, Ed. (Elsevier, Oxford, 2024), vol. 4, pp. 228–238.
20. W. M. Denevan, The pristine myth: the landscape of the Americas in 1492. *Ann Ass Am Geogr* **82**, 369–385 (1992).
21. B. J. Meggers, *Amazonia: man and culture in a counterfeit paradise, revised edition* (Smithsonian Institution Press, Washington, DC, ed. 2, 1996), pp. 214.
22. B. J. Meggers, Environmental limitation on the development of culture. *Am Anthropol* **56**, 801–824 (1954).
23. W. Balée, The research program of historical ecology. *Ann Rev Anthro* **35**, 75–98 (2006).
24. W. Balée, *Cultural forests of the Amazon: a historical ecology of people and their landscapes* (The University of Alabama Press, Tuscaloosa, AL, 2013), pp. 268.
25. W. Balée, "The culture of Amazonian forests" in *Resource management in Amazonia: indigenous and folk strategies*, D. A. Posey, W. Balée, Eds. (The New York Botanical Garden, Bronx, New York, 1989), pp. 1–21
26. W. Balée, *Sowing the forest: A historical ecology of people and their landscapes* (University of Alabama Press, Tuscaloosa, AL, 2023), pp. 233.
27. C. R. Clement, 1492 and the loss of Amazonian crop genetic resources. II. Crop biogeography at contact. *Econ Bot* **53**, 203–216 (1999).
28. M. J. Heckenberger, *The ecology of power: culture, place, and personhood in the southern Amazon, AD 1000-2000* (Routledge, New York, 2005).
29. M. J. Heckenberger, E. G. Neves, Amazonian archaeology. *Ann Rev Anthro* **38**, 251–266 (2009).
30. C. d. P. Moraes, E. G. Neves, O ano 1000: adensamento populacional, interação e conflito na Amazônia Central. *Amazônica* **4**, 122–148 (2012).
31. D. P. Schaan, *The Camutins chiefdom: Rise and development of social complexity on Marajó Island, Brazilian Amazon* (University of Pittsburgh, Pittsburgh, 2004).
32. D. M. C. Gomes, Urban archaeology in the Lower Amazon: Fieldwork uncovering large pre-colonial villages in Santarém City, Brazil. *Journal of Field Archaeology* **51**, 1–20 (2025).
33. D. M. C. Gomes, Politics and ritual in large villages in Santarém, Lower Amazon, Brazil. *Cambridge Archaeological Journal* **27**, 275–293 (2017).
34. E. G. Neves *et al.*, Peoples of the Amazon before European colonization. *Amazon Assessment Report* (2021).
35. E. G. Neves, *Sob os tempos do equinócio: Oito mil anos de história na Amazônia Central* (Ubu Editora, São Paulo, 2022).
36. W. G. Teixeira, D. C. Kern, B. E. Madari, H. N. Lima, W. I. Woods, *As terras pretas de índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas* (Editora da Universidade Federal do Amazonas, Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, 2010), pp. 418.

37. B. Glaser, W. I. Woods, *Amazonian dark earths: Explorations in space and time* (Springer-Verlag, Berlin, 2004).
38. W. I. Woods *et al.*, *Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's vision* (Springer, Dordrecht, 2009), 10.1007/978-1-4020-9031-8, pp. 502.
39. W. I. Woods, J. M. McCann (1999) The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths. in *Yearbook (Conference of Latin Americanist Geographers)* (University of Texas Press), pp 7–14.
40. M. J. Schmidt *et al.*, Intentional creation of carbon-rich dark earth soils in the Amazon. *Sci Adv* **9**, eadh8499 (2023).
41. M. Arroyo-Kalin, Slash-burn-and-churn: landscape history and crop cultivation in pre-Columbian Amazonia. *Quaternary International* **249**, 4–18 (2012).
42. J. Lehmann, "Terra preta Nova—where to from here?" in *Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision*, W. I. Woods *et al.*, Eds. (Springer, Dordrecht, 2009), 10.1007/978-1-4020-9031-8_28, pp. 473–486.
43. A. C. Roosevelt, *Moundbuilders of the Amazon: geophysical archaeology on Marajo Island, Brazil* (Academic Press, San Diego, 1991).
44. D. P. Schaan, "The nonagricultural chiefdoms of Marajó Island" in *The handbook of South American archaeology*, H. Silverman, W. H. Isbell, Eds. (Springer, New York, 2008), pp. 339–357.
45. J. D. M. Saldanha, "The Late Holocene megalithic structures at easternmost Amazonia" in *Megaliths of the world*, L. Laporte, J.-M. Large, L. Nespoulous, C. Scarre, T. Steimer-Herbet, Eds. (Archaeopress Publishing, Oxfordshire, UK, 2022), vol. I, pp. 185–192.
46. M. J. Heckenberger *et al.*, Pre-Columbian urbanism, anthropogenic landscapes, and the future of the Amazon. *Science* **321**, 1214–1217 (2008).
47. H. Prümers, C. J. Betancourt, J. Iriarte, M. Robinson, M. Schaich, Lidar reveals pre-Hispanic low-density urbanism in the Bolivian Amazon. *Nature* **606**, 325–328 (2022).
48. S. Rostain *et al.*, Two thousand years of garden urbanism in the Upper Amazon. *Science* **383**, 183–189 (2024).
49. D. T. Alves *et al.*, Assessing the role of plant seasonalities on the regional organisation of the Tapajó society. *Environmental Archaeology* **30**, 1–16 (2025).
50. C. Levis *et al.*, Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition. *Science* **355**, 925–931 (2017).
51. C. Levis *et al.*, Historical human footprint on modern tree species composition in the Purus-Madeira interfluve, central Amazonia. *PLoS ONE* **7**, e48559 (2012).
52. E. Thomas *et al.*, Uncovering spatial patterns in the natural and human history of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) across the Amazon Basin. *Journal of Biogeography* **42**, 1367–1382 (2015).
53. H. ter Steege *et al.*, Hyperdominance in the Amazonian tree flora. *Science* **342**, 1243092 (2013).
54. S. D. Coelho *et al.*, Eighty-four per cent of all Amazonian arboreal plant individuals are useful to humans. *PLoS ONE* **16**, e0257875 (2021).
55. C. R. Clement, H. dos Santos Pereira, I. C. G. Vieira, A. K. O. Homma, Challenges for a Brazilian Amazonian bioeconomy based on forest foods. *Trees, Forests and People* **16**, 100583 (2024).

Não importa se nos territórios tradicionais ou nas cidades: da invisibilidade à resistência linguística e cultural

Ana Carla Bruno

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)



Introdução

A migração indígena para centros urbanos se intensificou bastante nas últimas décadas na região amazônica. Os conflitos territoriais, a invasão e o desrespeito aos territórios indígenas, o desmonte nos processos de demarcação, a precariedade das condições de atendimento à saúde e educação nas áreas indígenas e a expectativa de, na cidade, dar continuidade aos estudos costumam justificar a migração. Os deslocamentos de indígenas para a cidade também ocorrem pela busca de diversos serviços públicos e benefícios sociais. Todas as diversas motivações mencionadas relacionadas à decisão de partir para a cidade combinam-se, confundem-se e complementam-se de forma complexa e obedecendo dinâmicas e trajetórias particulares de cada povo, de cada família, de cada indígena (1).

Compreender a presença indígena na cidade é um desafio, tendo em vista todo processo de “invisibilidade indígena” que esses agentes sociais foram submetidos e se submeteram para sobreviver. De acordo com Pacheco de Oliveira (2), a participação e atuação dos indígenas são sempre um “ponto cego” nas narrativas históricas e poucas são as fontes que tratam de suas estratégias e protagonismo. Mesmo quando se fizeram presente na construção das mesmas através de edificação de fortes, igrejas e outras obras públicas. Dessa forma, vivendo nas cidades muitos destes indígenas frequentam espaços, ambientes de trabalho, escolas e universidades que desconhecem suas línguas, cultura, histórias e experiências.

Estado da Arte

Os ideais, as propostas e as políticas de desenvolvimento para Amazônia desencadearam novas dinâmicas econômicas, políticas e sociais, como também sutis e violentas formas de apropriação e usos da terra que causaram grande impacto para o modo de vida de populações tradicionais e povos indígenas. Assim, a partir da década de 1960, militares e megaempreiteiras uniram-se para “transformar e desenvolver” a região através da construção de rodovias, hidrelétricas, projetos de mineração e expansão da fronteira agropecuária (3).

Dessa forma, no decorrer da história do nosso país, muitos projetos, ações, dispositivos e políticas de Estado intencionalmente e indiscriminadamente foram silenciando as línguas e culturas indígenas, através da “captura” de seus territórios e tentativa de controle dos seus corpos. Por outro lado, nas últimas três décadas, estamos notando uma efervescência de micropolíticas linguísticas e culturais que são acionadas pelos próprios indígenas que resistem e tentam manter suas línguas e culturas através de várias ações, atividades e inserções em espaços até então inimagináveis, como no universo da arte, da ciência e da política. Pacheco de Oliveira (2016) ressalta que deslindar as motivações que estão por trás das mobilizações e ações dos sujeitos indígenas pode ser uma ferramenta e um exercício que possibilite novas compreensões do processo histórico de nosso país.

Apesar da violência que permeia suas vidas na cidade, para muitas famílias indígenas, o estudo tem um valor positivo inquestionável. Ele possibilitará, talvez, acesso a cargos, aquisição do bem-estar econômico e ocupação de papéis e espaços tidos como estratégicos. Para eles, o estudo está associado a uma melhoria de posição social, como recorrentemente pontuam, ‘ser alguém na vida’ e isso significa para muitos ‘ter um bom emprego’, ‘ter seus sistemas de conhecimentos, saberes, línguas e culturas reconhecidos e valorizados’ e ‘ser mais respeitado pelos não indígenas’.

E assim, nessa movimentação entre os seus territórios tradicionais e vida na cidade, temos observa-

do que as artes indígenas brasileiras vêm ganhando espaço e visibilidade, seja na literatura, nas artes visuais, no cinema ou na música. A presença das artes indígenas, na última década, representa uma novidade e uma transformação profunda no campo cultural do nosso país. E aqui estamos utilizando a noção de “campo”, como problematizada por Bourdieu (4), um espaço social repleto de regras próprias e posições. E nesse movimento de retomada e de resistência histórico, artístico, cultural, sugerimos que estejam atentos e observem os trabalhos de alguns destes artistas: Denilson Baniwa, Daiara Tukano, Carmezia Emiliano, Joseca Yanomami, Arissana Pataxó, Ehuana Yanomami, Glicéria Tupinambá, Duhigó Tukano, Yacunã Tuxá, Jaider Esbell, por exemplo.

Além disso, não podemos nos eximir de refletir sobre a presença e o número de estudantes indígenas nas universidades brasileiras, nos cursos de graduação como também nos de pós-graduação, que tem crescido nas últimas décadas (5). E com a presença desses corpos que carregam histórias, línguas e sistemas de conhecimentos diversos, observamos também um movimento de reflexão sobre o lugar destes conhecimentos na produção acadêmica e científica do nosso país, principalmente na produção escrita de artigos e livros. Na história da ciência observamos uma série de hierarquias de sistemas de conhecimentos e campos de saberes que subordina e relega outras formas de conhecimento como secundárias ou menos importante. Essa é uma discussão que já faz parte das conversas dos pesquisadores indígenas que transitam entre seus territórios e nos espaços de ensino e institutos de ciência do nosso país.

Recomendações

- Refletir sobre o lugar e a contribuição dos povos indígenas na história do nosso país.
- Reconhecer diferentes possibilidades interpretativas, como modelos e sistemas de classificação e compreensão do mundo (fauna, flora, nas artes).
- Estudar as literaturas e produções de conhecimento de autoria indígena é urgente.
- Fomentar uma política de comunicação científica que visibilize as autorias e coautorias indígenas.
- Possibilitar a criação de laboratórios indígenas de pesquisa e inovação dentro das instituições de pesquisas para que os indígenas desenvolvam pesquisas a partir de suas epistemologias e técnicas de observação.

Referências

1. T. C. Menezes, A.C Bruno, Territórios indígenas na escola: língua e mobilização social no Amazonas. *Revista SURES* 3, 1-14 (2014).
2. J. Pacheco de Oliveira, *O nascimento do Brasil e outros ensaios: “pacificação”, regime tutelar e formação de alteridades* (Contra Capa, 2016).
3. D. Bronz, *Nos bastidores do licenciamento ambiental: uma etnografia das práticas empresariais em grandes empreendimentos* (Contra Capa, 2016).
4. P. Bourdieu, *Microcosmo: Teorias dos Campos* (Edusp, 2025).
5. S. Schmidt, Via de dupla entre a universidade e aldeia. *Revista Fapesp* (2025). Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/numero-de-estudantes-indigenas-no-ensino-superior-cresce-mas-grupo-enfrenta-desafios-para-se-formar/> (Acessado em 08 de maio de 2025).

Biodiversidade e serviços ecossistêmicos na Amazônia

Carlos Alfredo Joly

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)



Crédito: Mário Oliveira - MTUR

Introdução

A Amazônia, bioma de importância estratégica global, enfrenta pressões ambientais, sociais e econômicas crescentes. Diversas avaliações científicas (1) e políticas públicas têm documentado o avanço do desmatamento, a perda de biodiversidade, os impactos das mudanças climáticas, os desafios socioeconômicos, a urbanização desordenada e o crescimento do crime organizado na região. Esses fatores são agravados por uma governança frágil, comprometendo o futuro da floresta e de suas populações.

Com mais de 6,7 milhões de km² distribuídos entre nove países, a Bacia Amazônica abriga uma biodiversidade extraordinária, grande capacidade de armazenamento de carbono e rica diversidade sociocultural (1). Desde tempos imemoriais, os povos indígenas desenvolveram práticas de manejo sustentável e profundo conhecimento ecológico, moldando a paisagem e influenciando a distribuição de espécies arbóreas (1). Muitas das fitofisionomias atuais da floresta resultam dessa interação milenar com o ambiente (1).

Além de um extenso uso pelos povos ancestrais (1), o interesse pela biodiversidade amazônica remonta ao século XVIII, com a expedição de Humboldt e Bonpland (2). No século XIX, Alfred Wallace realizou importantes expedições na região, contribuindo de forma independente para a formulação da Teoria da Evolução por Seleção Natural (3). No século XX, estudiosos como Haffer (4), Vanzolini (5) e Ab'Saber (6) propuseram a Teoria dos Refúgios para explicar a diversidade e o endemismo amazônicos.

Empiricamente os povos ancestrais da Amazônia conheciam e desfrutaram dos serviços ecossistêmicos da Amazônia desde tempos imemoriais (1). A compreensão moderna da relevância ecológica da floresta foi ampliada com os estudos de Enéas Salati sobre os “rios voadores” (7) e pelos resultados do Experimento em Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA). O LBA revolucionou a compreensão dos ecossistemas amazônicos em um contexto global. Demonstrou que a Amazônia desempenha um papel crucial no sistema climático da Terra, ao mesmo tempo em que é altamente vulnerável a mudanças no uso da terra e às mudanças climáticas.

Estado da Arte

A Amazônia abriga cerca de 10% das espécies conhecidas mundialmente, muitas das quais são endêmicas (1). A perda e a fragmentação de habitats, causadas pelo desmatamento, construção de hidrelétricas, incêndios, caça e extração seletiva, têm levado à extinção de espécies e comprometido o funcionamento dos ecossistemas. Como consequência, serviços ecossistêmicos fundamentais, como a ciclagem da água e o sequestro de carbono, vêm se degradando rapidamente.

Estima-se que a região amazônica abrigue aproximadamente 40 mil espécies de plantas, mais de 3 mil espécies de peixes, cerca de 1.300 aves, 430 mamíferos, 800 répteis e anfíbios (1). Calcula-se ainda a presença de mais de 2,5 milhões de espécies de insetos, embora não haja estimativas precisas para outros grupos de invertebrados (1). As estimativas sobre microrganismos e vírus são incertas devido à enorme biodiversidade e à vastidão de áreas inexploradas. Para grupos como bactérias, archaea e protozoários, não há dados confiáveis (1). Em relação aos fungos, estima-se a ocorrência de cerca de 1 milhão de espécies (1). Os vírus, por sua vez, são ainda mais numerosos e diversos (8).

Muito antes da ciência ocidental, os povos indígenas da região desenvolveram sistemas sofisticados de conhecimento ecológico e práticas sustentáveis de manejo da biodiversidade (1). Através do plantio de espécies de interesse econômico e cultural, da seleção e dispersão de plantas e da interação contínua com o ambiente, influenciaram significativamente a composição e distribuição de espécies ao longo do tempo (9). Muitas fitofisionomias da floresta que conhecemos hoje resultam desse manejo milenar (9).

A partir dos séculos XVI ao XIX, exploradores e naturalistas europeus documentaram a riqueza da fauna e flora amazônicas, lançando as bases para uma compreensão biogeográfica da região. A sistematização do estudo da biodiversidade amazônica se fortaleceu com a criação do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) em 1866 (10), do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) em 1952, e das Universidades Federais do Pará (1957) e do Amazonas (1962), promovendo um salto qualitativo e quantitativo na produção científica (11).

No século XX, projetos pioneiros como a Expedição Permanente à Amazônia, coordenada por Paulo Emílio Vanzolini (1965-1987) (12), e o Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais, iniciado por Thomas Lovejoy em 1979 (13), ofereceram novas perspectivas sobre a biodiversidade e a fragmentação de habitats. Este último é o único experimento em larga escala sobre fragmentação ainda em andamento na Bacia Amazônica.

Destaca-se também o Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio Amazônia), criado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) em 2004. Associado posteriormente à criação dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs), o PPBio foi decisivo para o avanço do conhecimento científico na região. O programa combina monitoramento ecológico padronizado e de longo prazo com capacitação de recursos humanos, sistematização de dados, fortalecimento de acervos científicos e geração de subsídios para conservação e desenvolvimento sustentável (14). O PPBio é hoje um modelo para a pesquisa em regiões megadiversas e de difícil acesso, sendo fundamental garantir sua continuidade.

Mais recentemente, em 2021, diante das restrições orçamentárias ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), foi criada a Iniciativa Amazônia+10, liderada pelas Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa (CONFAP) e pelos Secretários Estaduais de Ciência, Tecnologia e Inovação (CONSECTI) (<https://www.amazoniamaisdez.org.br/>). A iniciativa visa apoiar a ciência e o desenvolvimento tecnológico na Amazônia, promovendo a compreensão das interações entre natureza e sociedade, e impulsionando a transição para um modelo de desenvolvimento sustentável. A proposta é garantir o protagonismo dos povos amazônicos e fomentar pesquisas que fortaleçam as instituições regionais, atraiam investimentos e promovam o bem-estar das populações locais de forma duradoura.

Nesse contexto, o conceito de Contribuições da Natureza para as Pessoas (NCP), desenvolvido pela Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES) (15), amplia a noção de serviços ecossistêmicos ao integrar dimensões ecológicas, econômicas, culturais e relacionais. Ele valoriza a diversidade de formas pelas quais diferentes culturas percebem e se relacionam com o ambiente natural.

As contribuições da natureza na Amazônia são profundas e multifacetadas. Elas sustentam a vida em diversas escalas, oferecendo benefícios tangíveis – como regulação climática, ciclos hídricos, provisão de alimentos e medicamentos, controle de doenças e riscos – e intangíveis, como identida-

de cultural, espiritualidade, bem-estar e resiliência socioecológica (15,16). Preservá-las exige respeito à diversidade sociocultural, governança inclusiva e ações integradas que combinem ciência, tecnologia e saberes tradicionais (15,17).

A Amazônia encontra-se em uma encruzilhada crítica. Embora os desafios sejam enormes, também são vastas as oportunidades para soluções inovadoras, inclusivas e baseadas no conhecimento. É hora de transformar conhecimento em ação, com estratégias coordenadas, bem financiadas e comprometidas com a equidade e a sustentabilidade. O futuro da floresta – e da humanidade – dependem disso.

Recomendações

- Na Amazônia, é essencial fomentar sistemas socioecológicos eficazes e resilientes que melhorem a qualidade de vida local e avancem os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Isso inclui fortalecer cadeias de valor com impacto socioambiental positivo, promover bioeconomia, economia circular e turismo sustentável, e adotar um modelo de desenvolvimento baseado na conservação, na inclusão socioeconômica, na valorização dos saberes locais e na governança participativa das populações tradicionais.
- É necessário fortalecer a governança, com o empoderamento das populações locais e tradicionais, e estabelecer um modelo de desenvolvimento que inclua a criação de incentivos para a conservação, a gestão sustentável, a restauração e a remediação dos ecossistemas amazônicos.
- Priorizar a pesquisa sobre biodiversidade e serviços ecossistêmicos na Amazônia nos próximos 30 anos é vital para a estabilidade ecológica global, a resiliência climática e o bem-estar, especialmente, dos povos indígenas e comunidades locais.
- Os principais temas de pesquisa incluem: (i) integridade florestal e *feedbacks* climáticos, incluindo pontos de inflexão, dinâmica do carbono e da água; (ii) monitoramento da biodiversidade, com foco na descoberta de espécies, funções ecossistêmicas e ameaças invasivas; (iii) bioprospecção baseada nos princípios da partilha de benefícios e do desenvolvimento sustentável; (iv) avaliação dos serviços ecossistêmicos para orientar o desenvolvimento sustentável e gerenciar *trade-offs*; (v) integração do conhecimento e dos direitos indígenas e das populações tradicionais; (vi) estratégias agroecológicas e de restauração como alternativas ao desmatamento; (vii) governança e eficácia das políticas além das fronteiras nacionais; e (viii) inovação em ferramentas de monitoramento, como sensoriamento remoto, inteligência artificial (IA), genômica e metagenômica.
- O sucesso a longo prazo requer a capacitação de recursos humanos e o fortalecimento de instituições nas áreas de caracterização, conservação, restauração e uso sustentável da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, colaboração inclusiva e transdisciplinar, sistemas de dados abertos, modelagem de cenários e financiamento sustentável.

Referências

1. Science Panel for the Amazon, *The Amazon Assessment Report 2021* (United Nations Sustainable Development Solutions Network, New York, 2021). Disponível em: <https://www.sp-amazon.org/publications/#ar2021> (Acessado em 20 de maio de 2025).

2. A. von Humboldt, A. Bonpland, *Voyage aux régions équinoxiales du Nouveau Continent* (Chez J.H. Hecht, Paris, 1807–1834).
3. A. R. Wallace, *A Narrative of Travels on the Amazon and Rio Negro* (Reeve & Co., London, 1853).
4. J. Haffer, Speciation in Amazonian forest birds. *Science* **165**, 131–137 (1969).
5. P. E. Vanzolini, E. E. Williams, South American anoles: the geographic differentiation and evolution of the *Anolis chrysolepis* species group (Sauria, Iguanidae). *Arq. Zool.* **19**, 1–298 (1970).
6. A. N. Ab'Sáber, Os domínios morfoclimáticos na América do Sul. *Geomorfologia* **52**, 1–23 (1977).
7. E. Salati, A. Dall'Olio, E. Matsui, J. R. Gat, Recycling of water in the Amazon Basin: An isotopic study. *Water Resour. Res.* **15**, 1250–1258 (1979).
8. C. H. Taylor, M. S. Oliveira, P. J. Cardoso, R. R. Silva, E. C. Holmes, Viral dark matter in the Amazon: Uncovering unseen viral diversity. *Nat. Microbiol.* **8**, 1012–1020 (2023).
9. C. R. Clement, W. M. Denevan, M. J. Heckenberger, A. B. Junqueira, E. G. Neves, W. G. Teixeira, W. I. Woods, The domestication of Amazonia before European conquest. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **112**, 13261–13266 (2015).
10. M. C. P. Lima, A. A. Freitas, O Museu Paraense Emílio Goeldi e a história das ciências naturais na Amazônia. *Hist. Cienc. Saude-Manguinhos* **23**, 137–157 (2016).
11. A. F. F. M. Rocha, R. F. Jesus, C. A. M. Ribeiro, Development of scientific research in the Brazilian Amazon: Institutional milestones and biodiversity advances. *An. Acad. Bras. Cienc.* **89**, 423–438 (2017).
12. P. E. Vanzolini, Twenty years of the Projeto Expedição Permanente à Amazônia: Contributions to Amazonian biodiversity knowledge. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Sér. Zool.* **4**, 3–20 (1988).
13. T. E. Lovejoy *et al.*, Edge and other effects of isolation on Amazon forest fragments. *Conserv. Biol.* **6**, 1–8 (1986).
14. M. M. Oliveira, L. T. F. Costa, A. P. Lima, The Biodiversity Research Program (PPBio) in the Brazilian Amazon: Long-term ecological research and contributions to conservation and sustainable development. *Biodivers. Conserv.* **24**, 3035–3050 (2015).
15. S. Díaz, U. Pascual, M. Stenseke, B. Martín-López, R. T. Watson, Z. Molnár, R. Hill, K. M. A. Chan, I. A. Baste, *et al.*, Assessing nature's contributions to people. *Science* **359**, 270–272 (2018).
16. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (IPBES, Bonn, Germany, 2019).
17. C. A. Nobre, G. Sampaio, L. S. Borma, J. C. Castilla-Rubio, J. S. Silva, M. Cardoso, Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **113**, 10759–10768 (2016).

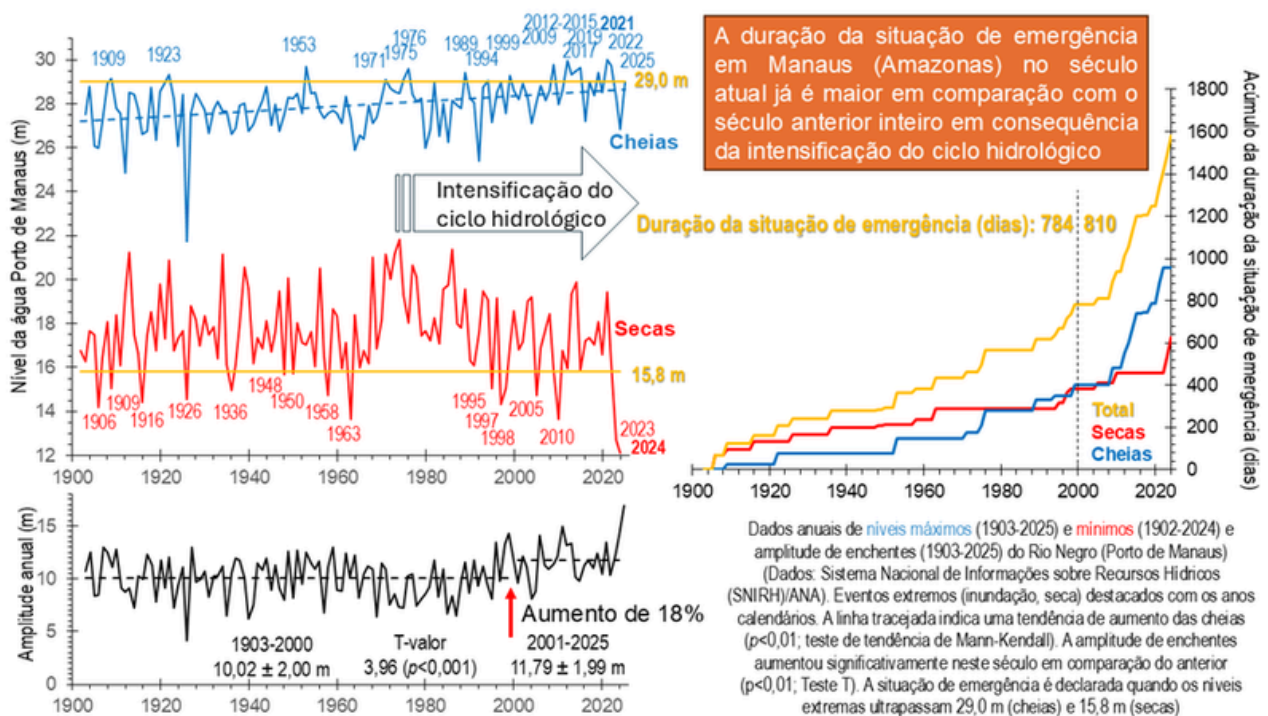
Água e áreas úmidas na Amazônia

Jochen Schöngart

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Wolfgang Junk

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)



Introdução

A Bacia Amazônica, com menos de 5% da área continental da Terra, concentra cerca de 18% da descarga de água doce para os oceanos e 14-19% das áreas úmidas do nosso planeta (1,2). Esses ambientes fornecem serviços ecossistêmicos vitais para a sociedade e diversos setores públicos e privados, como armazenar e purificar a água, tamponar a descarga dos rios mitigando cheias e secas severas, recarregar as águas subterrâneas, além de reter sedimentos e manter os ciclos biogeoquímicos (3). Áreas úmidas abrigam uma imensa diversidade de flora e fauna, parcialmente endêmicas, conservando um patrimônio genético único com alta capacidade adaptativa, sendo importantes propulsores para processos de diversificação e especiação (4). Esses ambientes oferecem temporariamente ou episodicamente, habitats e fontes de alimento para inúmeras espécies migratórias e estão intrinsecamente relacionados à história humana da Amazônia, fornecendo recursos naturais e meios de subsistência, contribuindo para a sua salvaguarda cultural (5) e oferecendo enormes potenciais para socio-bioeconomias sustentáveis nos tempos atuais (6). Entretanto, as áreas úmidas sofrem múltiplas ameaças devido às alterações por práticas insustentáveis de gestão dos seus recursos naturais e do uso da terra (como drenagem para expandir áreas de agricultura, expansão das zonas urbanas e redes rodoviárias, usinas hidrelétricas, incêndios, desmatamento das cabeceiras, poluição da água e do solo), da mudança do clima (aumento de temperaturas do ar e da água, frequência e magnitude de eventos hidrometeorológicos extremos resultando em secas e cheias severas - intensificação do ciclo hidrológico) e de efeitos sinérgicos e processos de retroalimentação entre esses vetores, resultando na perda da resiliência das áreas úmidas (7).

Estado da Arte

Desde a introdução da limnologia moderna na Amazônia por Harald Sioli na década 1950, que resultou nas tipologias dos rios pelas características morfológicas e hidroquímicas das suas águas (rios de águas brancas, pretas e claras) (8), a ciência avançou nos estudos das áreas úmidas. O conceito do pulso de inundação (9) foi um marco fundamental na ciência sobre áreas úmidas, com abordagens multidisciplinares subsequentes para compreender adaptações, ciclos de vida e interações biológicas da sua biota (10), o funcionamento dos ecossistemas e utilização ecologicamente orientada dos seus recursos naturais em função dessa força matriz (11). Disso resultaram conceitos importantes como o uso múltiplo das várzeas (12) e a classificação hierárquica e sistematizada de áreas úmidas na Amazônia (13), que fornecem importantes subsídios para as políticas públicas voltadas às áreas úmidas em todo o país (14).

Estudos recentes resultaram em uma complementação da classificação das áreas úmidas pela inclusão de uma nova unidade, chamada 'paisagem úmida' (15). Esta unidade trata de regiões paisagísticas grandes com peculiaridades ecológicas, econômicas e sociais específicas, tais como as várzeas e igapós amazônicos, o Pantanal matogrossense, as áreas úmidas dos rios Araguaia, Guaporé e Paraná, e outras ainda não definidas e descritas, principalmente no norte da Bacia Amazônica. Devido à complexidade e heterogeneidade destes enormes complexos paisagísticos, uma abordagem interdisciplinar e holística é necessária em nível de unidades funcionais, considerando os diversos macrohabitats da paisagem úmida interconectados ao longo de todo o gradiente hidrológico (desde condições permanentemente aquáticas até terrestres). Essa abordagem também foi promovida para a classificação das áreas úmidas em nível mundial (16), dando visibilidade internacional para o sistema de classificação elaborado pelo Brasil.

Em comparação com os ecossistemas terrestres, as paisagens úmidas na Amazônia possuem uma

maior heterogeneidade e complexidade. Enquanto a ciência produziu ao longo de várias décadas um conhecimento robusto para as áreas alagáveis dinâmicas e férteis ao longo dos rios de água-branca (várzea; ~450.000 km²) e avançou nos estudos das paisagens úmidas oligotróficas ao longo de rios de água-preta (igapós; ~140.000 km²), outras ainda carecem de estudos, como os igapós ao longo de rios de água-clara (~160.000 km²) com condições edáficas variadas ou a rede de drenagem formada por florestas ripárias (baixios; ~1 milhão km²), interconectada com outras paisagens úmidas. Buritizais (~60.000 km²) em condição permanente de inundação, ecossistemas oligotróficos de areia branca (campinaranas; ~335.000 km²) e as savanas hidromórficas que dominam na transição entre os biomas da Amazônia e os complexos savânicos nas regiões sul e norte como os *Llanos de Moxos* (~140.000 km²), o Lavrado (~15.000 km²), e as paisagens úmidas do Guaporé (~12.800 km²), Alto Xingú (~7.600 km²) e Araguaia (~88.000 km²) se somam às paisagens úmidas pouco estudadas (14).

Alterações dos ciclos hidrológicos são a principal ameaça às paisagens úmidas (7). Essas alterações ocorrem em consequência da variabilidade climática natural e da mudança global do clima (17), mas também são causadas por desmatamento das cabeceiras em larga escala (18) e por barragens hidrelétricas (19,20), principalmente na região sul da Amazônia (21). Desde a década de 1970 se forma um dipolo climático persistente entre as regiões norte e sul da bacia em consequência da intensificação do período chuvoso (norte) e da estação seca (sul) (22). Isso resulta em uma intensificação do ciclo hidrológico na porção central com um aumento das cheias e secas extremas e consequentemente da amplitude anual (diferença entre nível máximo e mínimo anual), que é 17% superior no século atual em comparação com o anterior (7).

A ciência ainda carece de informações sobre como as paisagens úmidas amazônicas respondem e se adaptam à intensificação do ciclo hidrológico. Para isso, a ciência precisa avançar na compreensão da vulnerabilidade e resiliência das diversas paisagens úmidas nas regiões que são sujeitas às tendências de aumento das secas extremas (região sul), cheias severas (região norte) e dos dois extremos (porção central da bacia). Essas abordagens precisam integrar a diversidade taxonômica, funcional e genética da sua biota, serviços ecossistêmicos e aspectos sociais, econômicos e ambientais, para subsidiar um desenvolvimento sustentável desses ambientes críticos que são enormes desafios para a ciência no contexto da transição acelerada da Amazônia. Somente assim podemos fornecer subsídios para desenvolver uma política nacional focada no uso racional de áreas úmidas valorizando a importância ecológica, social, econômica, cultural, científica e recreativa desses ambientes que são compromissos do país frente à Convenção de Ramsar (ratificada pelo Decreto Federal nº 1.905/1996).

Recomendações

- A intensificação do ciclo hidrológico na Amazônia ameaça os manejos tradicionais, a segurança hídrica e alimentar de muitas populações tradicionais e indígenas. Estudos científicos interdisciplinares com integração participativa dessas populações são necessários para adaptar o seu modo de vida à mudança do clima.
- Grandes complexos de paisagens úmidas na Amazônia necessitam ainda de uma proteção integrada no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Isso vale principalmente para as paisagens úmidas oligotróficas no interflúvio Negro-Branco e as várzeas da Amazônia Central. Estas regiões abrigam uma diversidade de espécies especialistas com enorme capacidade adaptativa frente à intensificação do ciclo hidrológico e à mudança do clima (23).

- O sistema de classificação de áreas úmidas precisa ser expandido para os demais países que compartilham a Bacia Amazônica para promover um uso racional das paisagens úmidas transfronteiriças (a Colômbia já realizou o inventário das suas áreas úmidas aplicando o sistema brasileiro de classificação) (24). Essa articulação precisa ser promovida em nível político por meio da Organização do Tratado de Cooperação Amazônica (OTCA).
- Para uma gestão eficiente das áreas úmidas e recursos hídricos, a classificação de áreas úmidas precisa ser integrada em sistemas de informação geográfica que permitam o seu monitoramento.
- As mais de 200 grandes usinas hidrelétricas em fase de operação, construção ou planejamento na região sul da Amazônia, que passa por uma intensificação da estação seca persistente há décadas (25), necessitam urgentemente uma revisão para mitigar impactos nas áreas úmidas e evitar desastres econômicos para o país.

Referências

1. E. M. Latrubesse, Patterns of anabranching channels: The ultimate end-member adjustment of mega rivers. *Geomorphology* **101**, 130–145 (2008).
2. N. C. Davidson, C. M. Finlayson, E. Fluet-Chouinard, The extent and distribution of the world's wetlands. *Ramsar Wetlands* **2023**, 91–114 (2023).
3. M. T. F. Piedade, F. Wittmann, J. Schöngart, W. J. Junk, P. Parolin, "Wetland Ecosystems" in *Encyclopedia of Biodiversity* (Third Edition). S. M. Scheiner, Ed. (Elsevier, 2024), pp. 581–599.
4. F. Wittmann, W. J. Junk, "The Amazon River Basin" in *The Wetland Book II: Distribution, Description and Conservation*. C. M. Finlayson, G. R. Milton, R. C. Prentice, N. C. Davidson, Eds. (Springer, 2016), pp. 1–20.
5. W. M. Denevan, A bluff model of riverine settlement in prehistoric Amazonia. *Ann. Am. Assoc. Geogr.* **86**, 654–681 (1996).
6. R. Garrett *et al.*, Transformative changes are needed to support socio-bioeconomies for people and ecosystems in the Amazon. *Nat. Ecol. Evol.* **8**, 1815–1825 (2024).
7. J. Schöngart *et al.*, "Fate of Floodplain Forests in a Changing Amazon" in *The Future of Amazonian Aquatic Biota*. S. S. de Souza, S. Braz-Mota, A. L. Val, Eds. (Springer, 2024), pp. 163–222.
8. H. Sioli, Ed., *The Amazon. Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin* (Dordrecht, 1984).
9. W. J. Junk, P. B. Bailey, R. E. Sparks, "The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems" in *Proceedings of the International Large River Symposium*. D. P. Dodge, Ed. (Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 106, 1989), pp. 110–127.
10. W. J. Junk, Ed., *The Central Amazon Floodplain* (Springer, 1997).
11. W. J. Junk, M. T. F. Piedade, F. Wittmann, J. Schöngart, P. Parolin, Eds., *Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management* (Springer, 2010).
12. W. J. Junk, M. T. F. Piedade, F. Wittmann, J. Schöngart, Eds., *Várzeas Amazônicas: Desafios para um Manejo Sustentável* (Editora do INPA, 2020).
13. W. J. Junk *et al.*, A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands. *Wetlands* **31**, 623–640 (2011).
14. Junk & Nunes da Cunha 2024, Eds., *Inventário das Áreas Úmidas Brasileiras: Distribuição, Ecologia, Manejo, Ameaças e Lacunas de Conhecimento* (Carlini & Caniato Editorial, 2024).

15. W. J. Junk, "Definição, Delineamento e Classificação Brasileira das Áreas Úmidas" in *Inventário das Áreas Úmidas Brasileiras: Distribuição, Ecologia, Manejo, Ameaças e Lacunas de Conhecimento*. W. J. Junk, C. Cunes da Cunha, Eds. (Carlini & Caniato Editorial, 2024), pp. 29–42.
16. W. J. Junk, World wetlands classification: a new hierarchic hydro-ecological approach. *Wetl. Ecol. Manag.* **32**, 975–1001 (2024).
17. J. Barichivich *et al.*, Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation. *Sci. Adv.* **4**, eaat8785 (2018).
18. M. H. Costa, A. Botta, J. A. Cardille, Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. *J. Hydrol.* **283**, 206–217 (2003).
19. C. Assahira *et al.*, Tree mortality of a flood-adapted species in response of hydrographic changes caused by an Amazonian river dam. *Forest Ecol. Manag.* **396**, 113–123 (2017).
20. J. Schöngart *et al.*, The shadow of the Balbina dam: A synthesis of over 35 years of downstream impacts on floodplain forests in Central Amazonia. *Aquat. Conserv.: Mar. Freshw. Ecosyst.* **31**, 1117–1135 (2021).
21. K. Timpe, D. Kaplan, The changing hydrology of a dammed Amazon. *Sci. Adv.* **3**, e1700611 (2017).
22. J. A. Marengo *et al.*, Long-term variability, extremes and changes in temperature and hydrometeorology in the Amazon region: A review. *Acta Amaz.* **54**, e54es22098 (2024).
23. J. E. Householder *et al.*, One sixth of Amazonian tree diversity is dependent on river floodplains. *Nat. Ecol. Evol.* **8**, 901–911 (2024).
24. L. F. Ricaurte *et al.*, A classification system for Colombian wetlands: An essential step forward in open environmental policy-making. *Wetlands* **39**, 971–990 (2019).
25. J. A. Marengo *et al.*, The drought of Amazonia in 2023-2024. *Am. J. Clim. Change* **13**, 567–597.

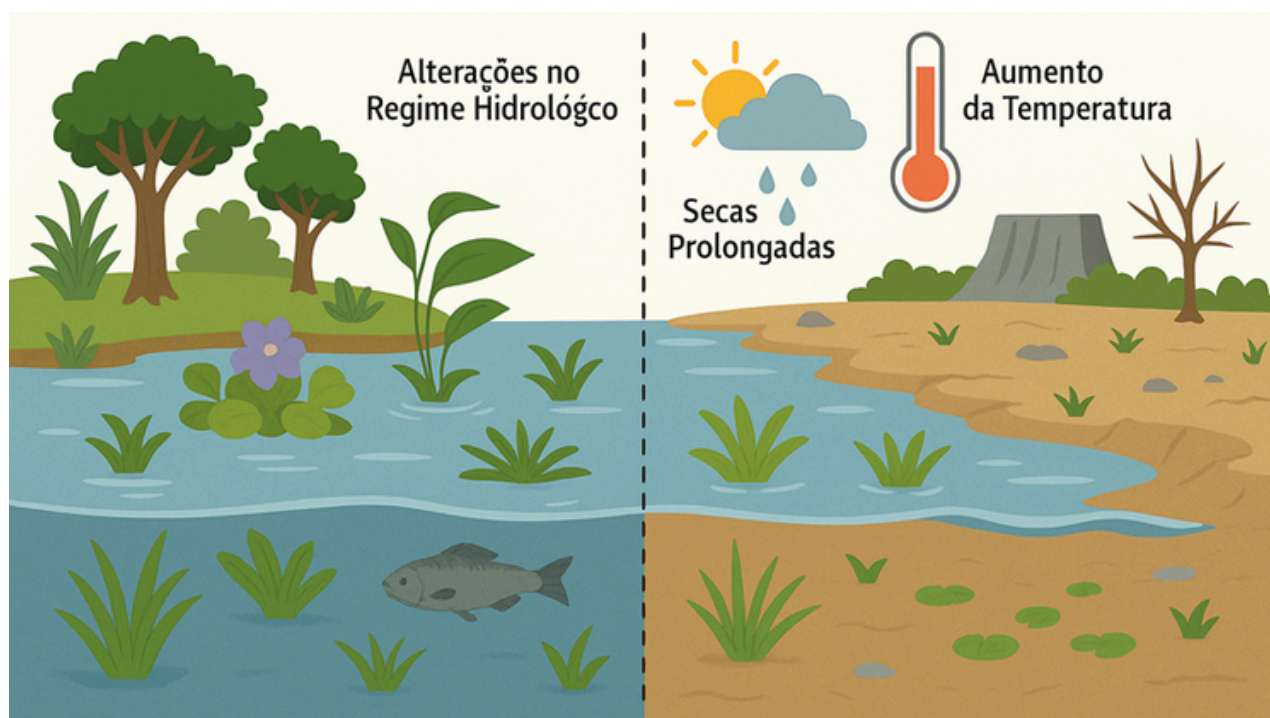
Macrófitas aquáticas na Amazônia, mudanças climáticas e antrópicas

Aline Lopes

Universidade Cesumar (Unicesumar)

Tháisa Sala Michelin

Universidade Federal do Pará (UFPA)



Introdução

As macrófitas aquáticas (plantas aquáticas) são componentes essenciais dos ecossistemas de águas interiores da Amazônia, contribuindo para processos ecológicos como ciclagem de nutrientes, sequestro de carbono e suporte à biodiversidade aquática (1). Esses vegetais, que incluem desde gramíneas flutuantes até arbustos e árvores palustres, respondem de forma sensível às variações no pulso de inundação – fenômeno que regula a sazonalidade da planície de inundação amazônica (2). Contudo, o avanço das mudanças climáticas e das pressões antrópicas tem alterado significativamente os padrões naturais desses ambientes (3).

As alterações no clima, como o aumento das temperaturas médias, a intensificação de eventos extremos e a redução do volume de chuvas em certas regiões da Bacia Amazônica, podem modificar a periodicidade e a duração das cheias, afetando diretamente o ciclo de vida das macrófitas (4,5). Paralelamente, atividades humanas como desmatamento, construção de barragens, expansão urbana e uso intensivo de agrotóxicos contribuem para a degradação da qualidade da água, fragmentação de habitats e introdução/estabelecimento de espécies exóticas (6,7,8,9). Diante desse cenário, torna-se urgente compreender como esses fatores estão afetando a diversidade, a distribuição e o funcionamento ecológico das comunidades de macrófitas aquáticas na Amazônia.

Estado da Arte

Historicamente, as macrófitas aquáticas sempre desempenharam papel central nos ambientes de várzea e igapó da Amazônia. Desde os primeiros estudos florísticos realizados na região, sua importância ecológica foi reconhecida por sua capacidade de estabilizar sedimentos, promover a oxigenação da água e servir de abrigo para organismos aquáticos (8). Ao longo das últimas décadas, o avanço de técnicas de sensoriamento remoto, aliado a investigações taxonômicas e ecológicas mais precisas, permitiu mapear com mais detalhe as comunidades de macrófitas e compreender suas respostas aos ciclos hidrológicos da planície amazônica (10).

Nos últimos anos, o foco da pesquisa tem se deslocado para os efeitos das mudanças climáticas e das atividades humanas sobre essas comunidades (11). Estudos recentes apontam para a redução da riqueza de espécies em áreas impactadas por barragens, como observado no rio Uatumã, onde o controle artificial do fluxo hídrico compromete os ciclos fenológicos das espécies nativas (6,12). Além disso, a intensificação das secas, possivelmente associada ao aquecimento global e ao desmatamento regional, tem levado à mortalidade de plantas adaptadas a longos períodos de inundação, favorecendo espécies mais generalistas e oportunistas (4,11). Experimentos recentes com macrófitas revelaram estratégias contrastantes de sobrevivência entre espécies sob estresse hídrico, incluindo alterações nos padrões de alocação de biomassa e variação de traços funcionais, indicando que secas prolongadas podem comprometer a persistência de espécies menos plásticas (13).

Além disso, a introdução de espécies exóticas invasoras de plantas macrófitas aquáticas tem sido impulsionada por atividades humanas, como aquicultura, comércio ornamental, desmatamento e transporte fluvial, que facilitam a chegada e dispersão de organismos não nativos nos ecossistemas aquáticos (9). Uma vez introduzidas, essas espécies podem se estabelecer com sucesso, sobretudo em ambientes alterados por ações antrópicas, que reduzem a resistência biótica dos ecossistemas (9,14). Essas plantas invasoras frequentemente formam populações monodominantes que suprimem a flora nativa, alteram a estrutura da comunidade, afetam os fluxos de nutrientes e com-

prometem a oferta de serviços ecossistêmicos, além de dificultarem o uso de corpos de água para pesca, navegação e abastecimento (15).

A poluição das águas por resíduos urbanos e pesticidas agrícolas também tem sido identificada como fator de preocupação crescente. Macrófitas bioindicadoras, como *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*, têm mostrado acúmulo de metais pesados e compostos tóxicos em áreas próximas a centros urbanos e zonas de expansão agropecuária (16,17). Isso não apenas compromete a qualidade da água, mas também altera a estrutura trófica dos sistemas aquáticos (18). Além de bioindicadoras, macrófitas também podem ser utilizadas como espécies fitorremediadoras, ou seja, são capazes de absorver, transformar ou imobilizar poluentes presentes na água, contribuindo significativamente para a melhoria da qualidade de ambientes aquáticos contaminados (19, 20, 21). Elas atuam em diferentes processos da fitorremediação, como fitoextração (absorção e concentração de contaminantes nos tecidos vegetais), rizofiltração (absorção de poluentes pelas raízes), e fitoestabilização (imobilização de contaminantes no sedimento), sendo eficazes na remoção de nutrientes em excesso (como nitrogênio e fósforo), metais pesados, pesticidas e até hidrocarbonetos. Além do controle de poluentes, essas plantas também favorecem a biodiversidade local e a ciclagem de nutrientes, promovendo a recuperação funcional de ecossistemas aquáticos impactados.

Um desafio adicional é a ausência de séries temporais longas que permitam compreender as tendências de longo prazo na composição e abundância das macrófitas. A maioria dos estudos ainda se concentra em levantamentos pontuais ou de curta duração, dificultando previsões robustas sobre os impactos cumulativos das mudanças ambientais (22). Diante disso, iniciativas de monitoramento contínuo e integração de dados de diferentes regiões tornam-se essenciais para a gestão sustentável desses ambientes.

Com a crescente pressão antrópica e os cenários projetados de alterações climáticas para a Bacia Amazônica, há consenso na literatura científica sobre a necessidade de fortalecer políticas de conservação que integrem a proteção de zonas úmidas e seus componentes vegetais (17,23,24). A resiliência dos ecossistemas aquáticos depende, em grande medida, da manutenção de ciclos hidrológicos naturais e da conectividade entre habitats – fatores que sustentam a dinâmica das populações de macrófitas e sua capacidade de adaptação frente às mudanças ambientais (7,8).

Nesse contexto, o estado da arte sobre macrófitas aquáticas evidencia a complexidade ecológica e funcional dessas plantas e ressalta sua vulnerabilidade frente aos múltiplos vetores de pressão ambiental. Ao mesmo tempo em que novas abordagens metodológicas têm ampliado nosso conhecimento sobre a diversidade, fisiologia e papel ecológico dessas espécies, os desafios impostos pelas mudanças climáticas, pelas invasões biológicas e pela degradação ambiental reforçam a urgência de estratégias integradas de pesquisa, monitoramento e conservação. A consolidação de redes de dados de longo prazo e ao fortalecimento das políticas públicas, será fundamental para garantir a conservação da biodiversidade e a sustentabilidade dos serviços ecossistêmicos prestados pelas macrófitas aquáticas na Amazônia e em outras regiões tropicais do Brasil.

Recomendações

- Implementar programas regionais de monitoramento ecológico de longo prazo das comunidades de macrófitas aquáticas, com foco em áreas protegidas e regiões de intensa pressão antrópica.

- Priorizar a restauração ecológica de zonas ripárias e várzeas degradadas, utilizando espécies nativas de macrófitas com alto valor ecológico e potencial de resiliência.
- Fortalecer políticas públicas de controle da poluição hídrica, especialmente no que se refere ao despejo de efluentes urbanos e uso indiscriminado de agrotóxicos nas bacias hidrográficas amazônicas.
- Identificar, monitorar e avaliar o efeito/impacto do crescimento de espécies exóticas invasoras.
- Estimular pesquisas interdisciplinares que integrem dados climáticos, hidrológicos e biológicos para modelar cenários futuros e propor medidas adaptativas de conservação.
- Ampliar a educação ambiental voltada às comunidades ribeirinhas e tomadores de decisão, destacando a importância ecológica das macrófitas aquáticas e os riscos associados à degradação dos ambientes aquáticos.

Referências

1. W. J. Junk, M. T. F. Piedade, *Herbaceous plants of the Amazon floodplain near Manaus: species diversity and adaptations to the flood pulse*. Volume XII, Número 3, 467–484 (1993).
2. W. J. Junk, P. B. Bayley, R. E. Sparks, The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* **106**, 110–127 (1989).
3. J. S. Albert et al., Human impacts outpace natural processes in the Amazon. *Science* **379**, eabo5003 (2023).
4. S. N. G. N. Souza et al., Implications of global climate change for the development and ecological interactions between two key Amazonian aquatic macrophytes. *Acta Bot. Bras.* **35**, 111–121 (2021).
5. A. Lopes, P. Parolin, M. T. F. Piedade, Morphological and physiological traits of aquatic macrophytes respond to water chemistry in the Amazon Basin: an example of the genus *Montrichardia* Crueg (Araceae). *Hydrobiologia* **766**, 1–15 (2016).
6. J. Schöngart et al., The shadow of the Balbina dam: A synthesis of over 35 years of downstream impacts on floodplain forests in Central Amazonia. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* **31**, 1117–1135 (2021).
7. A. Torremorell et al., Current and future threats for ecological quality management of South American freshwater ecosystems. *Inland Waters* **11**, 125–140 (2021).
8. M. T. F. Piedade, W. Junk, S. A. D'Ângelo, F. Wittmann, J. Schöngart, K. M. D. N. Barbosa, A. Lopes, Herbáceas aquáticas das áreas alagáveis amazônicas: estado da arte e estudos necessários. *Acta Limnol. Bras.* **22**, 165–178 (2010).
9. S. M. Thomaz, Ecosystem services provided by freshwater macrophytes. *Hydrobiologia* **850**, 2757–2777 (2023).
10. T. S. F. Silva, M. P. Costa, J. M. Melack, Spatial and temporal variability of macrophyte cover and productivity in the eastern Amazon floodplain: A remote sensing approach. *Remote Sens. Environ.* **114**, 1998–2010 (2010).
11. A. Lopes et al., Aquatic herbaceous plants of the Amazonian wetlands: Key species under pressure. in *The Future of Amazonian Aquatic Biota* (Springer, Cham, 2024), pp. 137–162.
12. M. E. Arias et al., Interactions between flooding and upland disturbance drives species diversity in large river floodplains. *Hydrobiologia* **814**, 5–17 (2018).

13. A. L. Fares, G. S. Teodoro, T. S. Michelan, Intraspecific trait variation and resource allocation trade-offs under water stress unveil divergent survival strategies in emergent macrophytes amid climate change. *Environ. Exp. Bot.* **231**, 106105 (2025).
 14. F. M. Bando, B. R. S. Figueiredo, D. A. Moi, S. M. Thomaz, T. S. Michelan, J. García-Girón, J. Heino, J. Alahuhta, G. Q. Romero, R. P. Mormul, Invasion by an exotic grass species homogenizes native freshwater plant communities. *Journal of Ecology* **111**, 799-813 (2023).
 15. T. S. Michelan, S. M. Thomaz, R. P. Mormul, P. Carvalho, Effects of an exotic invasive macrophyte (tropical signalgrass) on native plant community composition, species richness and functional diversity. *Freshwater Biology* **55**, 1315-1326 (2010).
 16. M. G. A. Morgado *et al.*, Large-scale agriculture and environmental pollution of ground and surface water and sediment by pesticides in the Brazilian Amazon: the case of the Santarém region. *Water Air Soil Pollut.* **234**, 150 (2023).
 17. S. J. F. Ferreira *et al.*, Impact of rapid urbanization on stream water quality in the Brazilian Amazon. *Environ. Earth Sci.* **80**, 1–16 (2021).
 18. J. P. M. Torres *et al.*, Persistent toxic substances in the Brazilian Amazon: contamination of man and the environment. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **20**, 1175–1179 (2009).
 19. W. T. Zevallos, L. M. Salvatierra, D. B. Loureiro, J. Morato, L. M. Pérez, Evaluation of the autochthonous free-floating macrophyte *Salvinia biloba* Raddi for use in the phytoremediation of water contaminated with lead. *Desalination and Water Treatment* **103**, 282-289 (2018).
 20. F. Freitas, S. Lunardi, L. B. Souza, J. S. C. von der Osten, R. Arruda, R. L. T. Andrade, L. D. Battirola, Accumulation of copper by the aquatic macrophyte *Salvinia biloba* Raddi (Salviniaceae). *Brazilian Journal of Biology* **78**, 133-139 (2018).
 21. A. Lopes A, M.T.F. Piedade MTF. Time of exposure and oil dosage affecting biomass production of the Amazonian semi-aquatic grass *Echinochloa polystachya*. *Rodriguésia* **62**(4), 901–907 (2011).
 22. M. T. F. Piedade, A. Lopes, L. O. Demarchi, J. da Cruz, W. J. Junk, Os campos naturais e as plantas herbáceas na planície de inundação amazônica e sua utilização. in *Desafios para um Manejo Sustentável*, 87 (2020).
 23. A. Lopes *et al.*, Predicting the range expansion of invasive alien grasses under climate change in the Neotropics. *Perspect. Ecol. Conserv.* **21**, 128–135 (2023).
- G. B. Mano, A. Lopes, M. T. F. Piedade, Will climate change favor exotic grasses over native ecosystem engineer species in the Amazon Basin? *Ecol. Inform.* **75**, 102102 (2023).

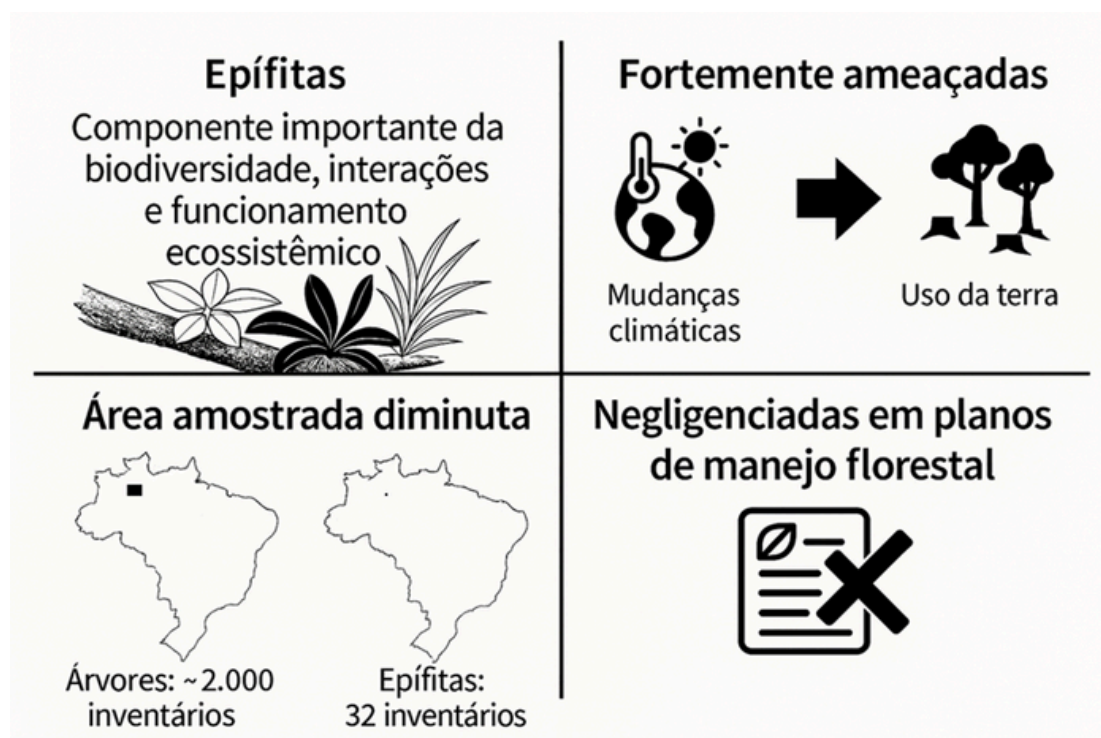
Avanços e desafios nas pesquisas com epífitas vasculares na Amazônia

Adriano Quaresma

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Layon Oreste Demarchi

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)



Introdução

Apesar dos avanços expressivos na quantificação da biodiversidade amazônica, evidenciada pelo grande número de inventários de diversos grupos biológicos e em diferentes regiões, a representatividade espacial dessa amostragem ainda é limitada (1). Mesmo para árvores, que constituem o grupo vegetal mais estudado, a área total inventariada equivale, por exemplo, a menos de um quarto da área da Reserva Florestal Adolpho Ducke, em Manaus, que possui 10 mil ha. Para outros taxa, como epífitas vasculares, o cenário é ainda mais crítico: este grupo, que representa uma parcela relevante da diversidade de plantas da floresta, conta com um número muito menor de inventários, cobrindo uma área equivalente a uma pequena fração de um único inventário de árvores. A baixa representatividade espacial reflete não apenas a menor prioridade histórica de estudos com epífitas, mas também as dificuldades logísticas de amostrar plantas que vivem presas a árvores, muitas vezes a dezenas de metros do solo.

A complexidade se acentua em ecossistemas amazônicos expostos a estressores ambientais intensos, como as florestas inundáveis de igapó. Nesses ambientes, pobres em nutrientes, as árvores podem levar décadas para crescer o suficiente e escapar da submersão total, retardando o início da colonização por epífitas. Apenas indivíduos mais velhos e de grande porte conseguem sustentar comunidades epífíticas bem desenvolvidas, tornando esse processo lento após perturbações no ambiente. Tal característica torna essa comunidade de plantas particularmente sensível a distúrbios que alteram a estrutura e a dinâmica da floresta, como mudanças climáticas, hidrológicas e de uso da terra. Investir em pesquisas que ampliem a cobertura geográfica e ecológica dos inventários, aliadas a redes de pesquisas colaborativas, é essencial para compreender a distribuição, diversidade, vulnerabilidade e resiliência dessas plantas, fornecendo subsídios para estratégias de conservação em uma das regiões mais biodiversas e ameaçadas do planeta.

Estado da Arte

Epífitas vasculares são definidas como plantas que dependem de um suporte estrutural, principalmente árvores, e independem do solo durante parte ou todo o seu ciclo de vida (2). Constituem um grupo diverso com aproximadamente 31 mil espécies, representando cerca de 10% de todas as espécies de plantas vasculares do mundo (3) e, em certas florestas tropicais, podem corresponder a até 40% da riqueza local de espécies vegetais (4). As epífitas desempenham papel fundamental ao fornecer recursos alimentares, abrigos para reprodução e microambientes especializados para a fauna do dossel, incluindo aves, répteis, moluscos e uma infinidade de insetos. A rápida captura de matéria e energia pelas epífitas, seguida pela reintegração desses recursos ao ecossistema, resulta muitas vezes em uma biomassa fotossintética frequentemente equivalente ou superior à de suas árvores suporte (5).

Mesmo com uma expressiva representatividade florística e importância nas funções ecossistêmicas, este grupo é negligenciado em planos de manejo florestal, que se detém quase que exclusivamente ao extrato arbóreo. Além disso, as epífitas vasculares enfrentam fortes ameaças decorrentes principalmente das mudanças climáticas, pois muitas espécies retiram água e nutrientes diretamente da atmosfera. Ameaças também decorrem da alteração no uso da terra, pois há uma dependência mecânica das epífitas em relação às árvores suporte, e a supressão da vegetação original leva à exclusão dessas plantas das áreas afetadas. Por exemplo, análises de redes interativas demonstram que em ecossistemas de areia branca (campinaranas) da Amazônia, a retirada de uma única espécie arbórea leva à extinção secundária de mais de 30% das epífitas vasculares (6).

Apesar de sua relevância e das ameaças que enfrentam, o conhecimento ecológico sobre esse grupo funcional na Amazônia ainda se baseia, em grande parte, em inventários pontuais e de pequena escala (7). Essa restrição das informações a estudos localizados dificulta a compreensão de padrões e processos ecológicos tanto em escala local quanto biogeográfica. Até 2022, apenas 291 artigos, abrangendo todas as áreas da botânica, foram dedicados às epífitas vasculares na Amazônia e, destes, 91,7% foram publicados após o ano 2000 (8). Esse aumento nos últimos anos reflete um interesse crescente, mas também evidencia o quão recente e fragmentado ainda é o esforço de documentar a diversidade e a ecologia dessas plantas.

Foi nesse contexto de lacunas históricas e dispersão de dados que surgiu a *Amazon Epiphyte Network* (AEN), um esforço colaborativo para compilar inventários florísticos de epífitas vasculares na Amazônia. Liderada por pesquisadores brasileiros que atuam diretamente na região, a rede foi criada para reunir especialistas e concentrar o conhecimento disponível sobre epífitas na Amazônia, possibilitando análises integradas desse grupo de plantas em escala de toda a bacia (7). A compilação dos dados resultou no registro de 518 espécies provenientes de 32 inventários, número que representa apenas 9,2% das 5.587 espécies listadas para a Amazônia nas bases de dados online GBIF e *SpeciesLink* (9). Além de evidenciar essa expressiva diferença, a análise também revelou extensas lacunas de amostragem, com sub-regiões inteiras, como o sul da Amazônia e o escudo das Guianas, totalmente desprovidas de inventários. Essas lacunas também foram reveladas com dados de coletas pontuais de epífitas (10).

Diante do cenário apresentado, torna-se evidente que, apesar dos avanços recentes no entendimento da ecologia de epífitas na Amazônia, persistem inúmeros desafios que limitam a compreensão plena da diversidade e ecologia deste grupo de plantas. A cobertura espacial dos inventários é altamente desigual, com uma área total amostrada muito inferior à registrada para outros grupos vegetais. Além dessa baixa representatividade, as dificuldades logísticas de acesso ao dossel e de coleta em áreas remotas encarecem e restringem o esforço de campo, exigindo técnicas especializadas e, idealmente, o uso de tecnologias como drones e equipamentos de escalada. Outro obstáculo central é a carência de monitoramentos consistentes ao longo do tempo, o que impede a detecção de tendências e respostas das comunidades epifíticas a distúrbios e mudanças ambientais, limitando a capacidade de prever impactos e planejar ações de conservação de forma proativa. Ao mesmo tempo, a alta sensibilidade das epífitas às rápidas mudanças ambientais em curso as aponta como um importante grupo indicador ecológico de distúrbios, e exige o desenvolvimento de programas de monitoramento de longo prazo que contemplem gradientes ambientais e diferentes tipos de floresta, incluindo ecossistemas altamente vulneráveis, como igapós e campinaranas. Por fim, é essencial que a relevância ecológica das epífitas seja incorporada a políticas públicas e estratégias de manejo e restauração, garantindo que sua conservação receba a mesma prioridade atribuída a outros componentes-chave da biodiversidade amazônica.

Recomendações

- Ampliar o número de inventários em regiões biogeográficas subamostradas e em ecossistemas pouco explorados, como buritizais e várzeas. Essa expansão irá reduzir as lacunas de conhecimento e permitir análises comparativas em larga escala.
- Desenvolver e implementar métodos que aumentem a eficiência da coleta, como o uso de drones com câmeras de alta resolução e técnicas de escalada otimizadas. Isso ajudará a superar barreiras logísticas, financeiras e ampliar a cobertura amostral, especialmente em áreas remotas e de difícil acesso.

- Associar inventários florísticos a variáveis ambientais (clima, hidrologia, uso da terra) e desenvolver modelos preditivos para distribuição, ocorrência e fenologia das epífitas vasculares. Isso permitirá prever respostas às mudanças ambientais em curso e traçar medidas de mitigação/adaptação.
- Investigar traços funcionais das epífitas (hiperdominantes vs. raras), suas relações com as árvores hospedeiras em diferentes escalas (idade, características da casca, sucessão, distúrbios) e os impactos dessas interações sobre a estrutura e resiliência das comunidades.
- Apoiar a formação de recursos humanos nas áreas de graduação, mestrado e doutorado que atuem nas diferentes linhas de pesquisa relacionadas às epífitas vasculares. Isso inclui desenvolver habilidades para identificação de espécies, técnicas de coleta no dossel e uso de ferramentas tecnológicas, aumentando a independência de novos núcleos de pesquisa para ampliar a base de dados e conhecimento.
- Consolidar redes de pesquisa e criar programas permanentes de monitoramento que cubram gradientes ambientais e tipos de floresta. Esses esforços devem fornecer dados padronizados para análises temporais e orientar políticas públicas de conservação.

Referências

1. R. L. Carvalho, A. F. Resende, J. Barlow, *et al.*, Pervasive gaps in Amazonian ecological research. *Curr. Biol.* **33**, 3495–3504 (2023).
2. G. Zotz, *Plants on plants: the biology of vascular epiphytes* (Springer Nature, Cham, Switzerland, 2016), p. 282.
3. G. Zotz, *et al.*, EpiList 1.0: a global checklist of vascular epiphytes. *Ecology* **102**, e3326 (2021).
4. D. L. Kelly, G. O'Donovan, J. Feehan, S. Murphy, S. O. Drangeid, L. Marcano-Berti, The epiphyte communities of a montane rain forest in the Andes of Venezuela: patterns in the distribution of the flora. *J. Trop. Ecol.* **20**, 643–666 (2004).
5. R. A. Kersten, Vascular epiphytes – History, taxonomic participation and aspects relevant, with emphasis on the Atlantic Forest. *Hoehnea* **37**, 9–38 (2010).
6. V. P. Klein, T. M. Francisco, A. C. Quaresma, M. T. F. Piedade, Structure of epiphyte–phorophyte networks and their robustness to species loss in white-sand ecosystems in the Amazon. *Biotropica* **57**, e70005 (2025).
7. A. C. Q. Quaresma, C. E. Zartman, M. T. F. Piedade, *et al.*, The Amazon Epiphyte Network: A First Glimpse Into Continental-Scale Patterns of Amazonian Vascular Epiphyte Assemblages. *Front. For. Glob. Change* (2022).
8. A. L. S. Luz, A. A. S. Costa, C. R. Moreira, F. F. V. A. Barberena, Vascular epiphytes in the Amazon: main gaps, limitations and perspectives for studies on the subject. *Acta Bot. Bras.* **37**, e20220311 (2023).
9. K. M. S. Lucas, A. Lopes, F. N. Ramos, F. Wittmann, J. Schöngart, A. Quaresma, Conserving Amazonian vascular epiphytes: evaluating protected areas and unveiling biodiversity through comprehensive species inventories. *Biodivers. Conserv.* (2025).
10. M. L. Araújo, A. C. Quaresma, F. N. Ramos, GBIF information is not enough: national database improves the inventory completeness of Amazonian epiphytes. *Biodivers. Conserv.* **31**, 2797–2815 (2022).

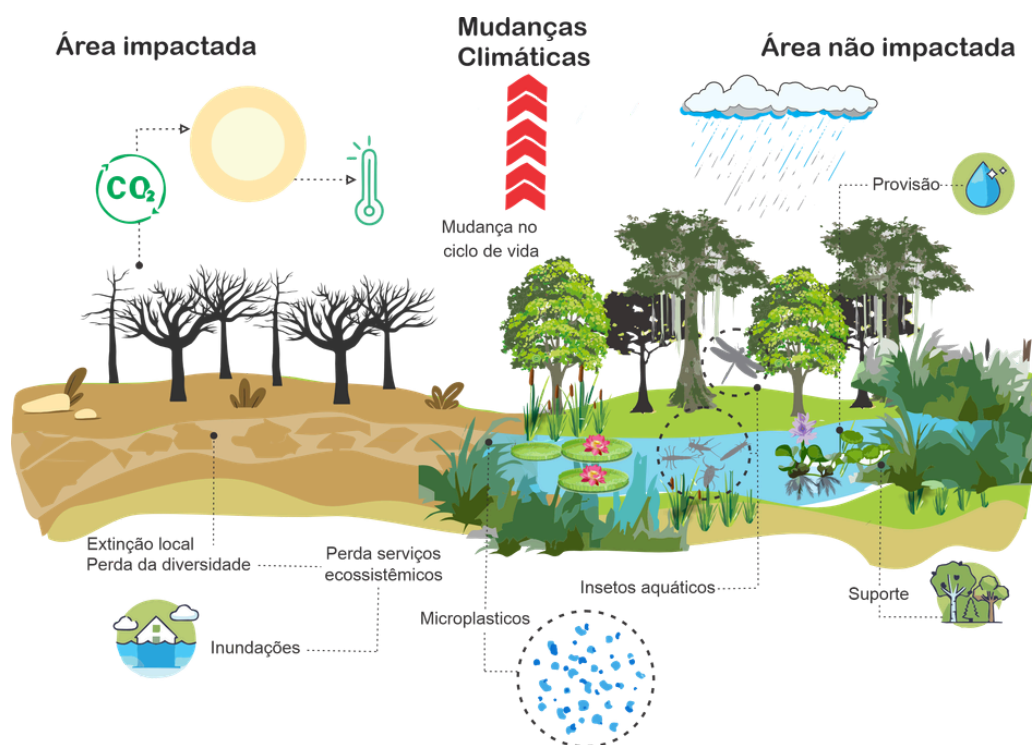
Mudanças climáticas na Amazônia e seus efeitos sobre os insetos aquáticos

Leandro Juen

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Renato Tavares Martins

Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz)



Introdução

A Amazônia abriga uma das maiores redes hidrográficas do planeta e está entre as regiões mais vulneráveis às mudanças climáticas. Seus ambientes aquáticos têm papel fundamental na conservação da biodiversidade global, abrigando enorme diversidade de peixes, plantas aquáticas e invertebrados, muitos deles endêmicos, ocorrendo somente nesse bioma (1). Rios, igarapés e áreas alagadas também são essenciais para o funcionamento dos ciclos biogeoquímicos e para o bem-estar humano, pois ajudam a regular o clima local, armazenam e purificam a água, controlam enchentes, sustentam a pesca e têm importância cultural para as populações tradicionais. No entanto, esses ecossistemas amazônicos seguem negligenciados em pesquisas científicas, nos planos de conservação e nas políticas públicas (2).

Mudanças nos padrões de chuva e o aumento da temperatura têm intensificado os eventos extremos na Amazônia, como secas prolongadas e cheias abruptas, com impactos severos sobre a fauna aquática. A esses efeitos somam-se as pressões humanas cada vez mais intensas, como poluição orgânica e desmatamento, que comprometem a integridade ecológica (3,4). Esses impactos são ainda mais preocupantes em igarapés de pequenas dimensões, que apresentam elevada vulnerabilidade e alto risco de colapso ecológico. Nesses ambientes vivem insetos aquáticos, muitos deles sensíveis às alterações ambientais e que desempenham importantes funções ecológicas: decomposição da matéria orgânica, controle populacional e suporte às cadeias tróficas (5). A carência de dados abrangentes e integrados sobre os ecossistemas aquáticos compromete a capacidade de propor estratégias eficazes de mitigação e adaptação. Para que o Brasil avance no cumprimento da Meta 21 do Marco Global da Biodiversidade (GBF-CBD) é urgente integrar a biodiversidade aquática às agendas climáticas e de conservação na Amazônia.

Estado da Arte

Projeções indicam que, até 2100, a região amazônica poderá experimentar aumentos de temperatura superiores a 8°C, com concentrações atmosféricas de CO₂ próximas a 1000 ppmv (6). Essas mudanças devem ser acompanhadas pelo aumento da frequência de eventos extremos, como secas prolongadas e enchentes severas, podendo resultar em grandes alterações na composição e na funcionalidade da vegetação ripária (7). As mudanças climáticas vêm alterando de forma significativa a ecologia dos insetos aquáticos amazônicos. O aumento da temperatura da água reduz o oxigênio dissolvido, acelera o metabolismo e altera os ciclos reprodutivos e as taxas de sobrevivência dos imaturos (8). Secas intensas diminuem a disponibilidade de habitats aquáticos, podendo resultar na mortalidade local de populações inteiras (4). Além disso, mudanças nos padrões de cheias e vazantes podem afetar os ciclos de vida de muitas espécies (9). Assim como efeitos diretos, as mudanças climáticas podem afetar indiretamente os insetos aquáticos amazônicos. A alteração da estrutura da vegetação ripária afeta a quantidade e qualidade da matéria orgânica que entra nos igarapés. Mudanças nas características das folhas (como aumento da dureza e redução da concentração de nutrientes) afetam a decomposição e comprometem a disponibilidade de alimento e abrigo para as larvas (10). A combinação desses fatores listados ameaça a diversidade, o funcionamento ecológico e a resiliência dos ecossistemas aquáticos frente às mudanças climáticas.

Estudos realizados no microcosmo do INCT-Adapta-II, no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), têm sido fundamentais para entender os efeitos de diferentes cenários climáticos sobre os insetos aquáticos da Amazônia. Esse ambiente experimental é único na Amazônia, tendo sido projetado para simular em tempo real os efeitos combinados do aumento de temperatura e da

concentração de CO₂ sobre as respostas fisiológicas, comportamentais e ecológicas de diferentes grupos de organismos (3). No microcosmo há quatro câmaras de simulação, nas quais as condições climáticas são ajustadas continuamente com base em variações registradas na câmara controle, seguindo as projeções de cenários climáticos definidos pelo IPCC (6). Estudos com larvas de *Phylloicus elektoros* (Trichoptera) demonstraram que o aumento da temperatura e de CO₂, reduz a sobrevivência e o consumo de folhas por esses fragmentadores, especialmente em experimentos com duração superior a sete dias (11). Outros estudos indicaram efeito da qualidade do detrito vegetal sobre os fragmentadores. Folhas crescidas sob maiores temperaturas e concentrações de CO₂ tendem a apresentar maior dureza e menor teor de nutrientes (como fósforo), o que reduz sua palatabilidade e, conseqüentemente, diminui a taxa de consumo pelas larvas (12,13). Adicionalmente, efeitos sinérgicos entre mudanças climáticas e outros estressores emergentes, como microplásticos, intensificam os efeitos negativos sobre os fragmentadores, reduzindo tanto a sobrevivência quanto a taxa de consumo (14). De modo geral, esses estudos experimentais registraram uma diminuição da importância relativa dos fragmentadores e um aumento da contribuição dos micro-organismos na decomposição foliar devido às mudanças climáticas. Essa alteração poderá resultar em menor produção de matéria orgânica particulada fina, essencial para organismos filtradores e coletores, com potencial para comprometer o fluxo de energia e a estabilidade das cadeias alimentares nos igarapés amazônicos.

Apesar dos avanços recentes nas abordagens experimentais, ainda há grandes lacunas de conhecimento sobre os insetos aquáticos na Amazônia. O conhecimento taxonômico ainda é limitado, e muitas espécies de insetos aquáticos podem ser extintas antes mesmo de serem descritas (15). A distribuição e a riqueza de espécies permanecem subestimadas, o que dificulta a modelagem precisa dos efeitos das mudanças ambientais em larga escala (16). Uma avaliação recente mostrou que, apesar do aumento do número de estudos, a pesquisa continua concentrada em áreas de fácil acesso, e com baixa cobertura em regiões remotas e de difícil logística (2). Portanto, vastas áreas da Bacia Amazônica permanecem subamostradas, e são vulneráveis às alterações humanas não detectadas. Além disso, a carência de séries temporais e de redes de monitoramento contínuo compromete a detecção de tendências ecológicas e a elaboração de cenários robustos de adaptação às mudanças climáticas (1). Essa lacuna está frequentemente associada à falta de financiamento estável ou à descontinuidade de fomento ao longo do tempo, o que inviabiliza a coleta de dados de longo prazo, essencial para entender a dinâmica dos ecossistemas (17). Isso ajuda a explicar, porque são raros os estudos na Amazônia que avaliam a variação temporal, mesmo quando se considera aspectos da ecologia clássica, como mudanças na riqueza, abundância e composição de insetos aquáticos. Embora existam estudos temporais na região (18), a maioria segue delineamentos do tipo “antes e depois” (19,20), podendo ainda haver amostragens espaçadas por vários anos (21). Ainda que esse tipo de estudo possibilite detectar mudanças estruturais na fauna de insetos aquáticos, ele não capta variações interanuais naturais e nem permite distinguir claramente os efeitos das mudanças climáticas de outras pressões humanas.

O cenário torna-se ainda mais crítico diante da sinergia entre múltiplos estressores ambientais, como o desmatamento, a construção de barragens, a poluição difusa e a intensificação do uso da terra (22). Esses fatores interagem com os efeitos das mudanças climáticas, agravando as pressões sobre os habitats aquáticos, comprometendo a conectividade hidrológica, a estabilidade térmica e a integridade ecológica dos cursos d'água (5). A fragmentação e degradação de habitats, associadas à perda de função ecossistêmica, aumentam o risco de que a região atinja pontos de inflexão ecológica, com riscos de colapsos locais ou regionais de biodiversidade aquática.

Portanto, mesmo com os avanços recentes, a compreensão das respostas dos insetos aquáticos amazônicos às mudanças climáticas ainda está em construção. Para superar as lacunas, é fundamental ampliar o conhecimento taxonômico integrando abordagens experimentais, modelagem ecológica, bem como buscando a obtenção de dados em áreas pouco exploradas e que contemplem séries temporais. Também é urgente investir em ampliar o conhecimento taxonômico desse grupo, pois o desconhecimento pode mascarar perdas significativas de biodiversidade. Essa combinação permitirá antecipar impactos, orientar estratégias de adaptação e promover uma conservação mais eficaz dos ecossistemas de água doce na Amazônia. Esse esforço é essencial para preservar a biodiversidade regional e para que o Brasil contribua no cumprimento das metas globais de enfrentamento da crise climática e de proteção à vida na Terra.

Recomendações

Para enfrentar os desafios relacionados aos impactos das mudanças climáticas sobre insetos aquáticos e subsidiar políticas eficazes, recomendamos:

- Integrar a biodiversidade aquática aos sistemas de monitoramento climático e de áreas protegidas, utilizando insetos aquáticos como bioindicadores em avaliações de impacto ambiental e na elaboração de planos de adaptação às mudanças climáticas, especialmente em riachos tropicais.
- Ampliar coletas padronizadas e integradas em diferentes bacias hidrográficas da Amazônia, priorizando áreas pouco estudadas e ecossistemas negligenciados, como lagos, igarapés intermitentes, fitotelmata e ambientes subterrâneos. Além de fortalecer as redes colaborativas, como o Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio), e ampliar a cobertura espacial e temporal dos dados são medidas fundamentais para garantir avaliações mais precisas e ações eficazes de conservação.
- Fomentar pesquisas interdisciplinares sobre múltiplos estressores, abordando os efeitos sinérgicos de mudanças climáticas, poluentes emergentes (como microplásticos e agrotóxicos), perda de habitat e alterações no uso da terra.
- Investir em infraestrutura científica, ampliando os sistemas experimentais (microcosmos e mesocosmos) e estabelecer novos núcleos de pesquisa dedicados ao monitoramento e à compreensão dos efeitos das mudanças climáticas na Amazônia.
- Investir em taxonomia integrativa e modelagem ecológica preditiva, com padronização de protocolos de coleta e o fortalecimento das coleções biológicas. Essas ações são fundamentais para melhorar a infraestrutura, a identificação de espécies e ampliar a capacidade de predição das respostas ecológicas às mudanças ambientais.
- Incentivar a ciência cidadã, a formação de jovens pesquisadores e a valorização do conhecimento tradicional são ações fundamentais para ampliar a participação pública na conservação dos ecossistemas aquáticos e fortalecer políticas inclusivas de gestão territorial e adaptação às mudanças climáticas.

Referências

1. A. Encalada *et al.*, *Conserving the Amazon's freshwater ecosystems' health and connectivity* [Policy brief]. (Science Panel for the Amazon, 2024).
2. R. L. Carvalho *et al.*, Pervasive gaps in Amazonian ecological research. *Curr. Biol.* **33**, 3495–3504 (2023).
3. R. T. Martins, V. C. Firmino, N. Hamada, "Amazonian Aquatic Insects in a Changing Landscape" in *The Future of Amazonian Aquatic Biota*, S.S. de Souza, S. Braz-Mota, A. L. Val, Eds. (Springer, 2024), pp. 111–136.
4. D. Dudgeon, D. L. Strayer, Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: what are the prospects? *Biol. Rev.* **100**, 205–226 (2025).
5. N. Hamada, J. Nessimian, R. B. Querino, *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia* (Editora INPA, Manaus, 2019).
6. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. (Working Group I Contribution to the IPCC Sixth Assessment Report, 2021).
7. M. J. Bottino *et al.*, Amazon savannization and climate change are projected to increase dry season length and temperature extremes over Brazil. *Sci. Rep.* **14**, 5131 (2024).
8. L. Bonacina, F. Fasano, V. Mezzanotte, R. Fornaroli, Effects of water temperature on freshwater macroinvertebrates: a systematic review. *Biol. Rev.* **98**, 191–221 (2023).
9. J.A. Harvey *et al.*, Scientists' warning on climate change and insects. *Ecol. Monogr.* **93**, e1553 (2023).
10. M.J. Salinas *et al.*, Climate-driven changes of riparian plant functional types in permanent headwater streams: Implications for stream food webs. *PLoS One* **13**, e0199898 (2018).
11. R. T. Martins, A. S. Melo, J. F. Gonçalves, C. M. Campos, N. Hamada, Effects of climate change on leaf breakdown by microorganisms and the shredder *Phylloicus elektoros* (Trichoptera: Calamoceratidae). *Hydrobiologia* **789**, 31–44 (2017).
12. R. T. Martins *et al.*, Effects of increasing temperature and CO₂ on quality of litter, shredders, and microorganisms in Amazonian aquatic systems. *PLoS One* **12**, e0188791 (2017).
13. R. T. Martins, J. F. Gonçalves, C. M. Campos, A. Lopes, M. T. F. Piedade, N. Hamada, Leaf consumption by invertebrate aquatic shredders in the Amazon: effects of climate change and microbial conditioning. *Limnology* **21**, 257–266 (2020).
14. V. C. Firmino *et al.*, Do microplastics and climate change negatively affect shredder invertebrates from an Amazon stream? An ecosystem functioning perspective. *Environ. Pollut.* **321**, 121184 (2023).
15. R. P. Salomão, A. Córdoba-Aguilar, P. Rodríguez, M. Rocha-Ortega, "Biodiversity of Aquatic Insects in the Neotropics: Perspectives and Challenges" in *Insect Decline and Conservation in the Neotropics*, J. L. León-Cortés, A. Córdoba-Aguilar, Eds. (Springer Nature, 2024), pp. 301–311.
16. F. Alves-Martins *et al.*, Sampling completeness changes perceptions of continental scale climate-species richness relationships in odonates. *J. Biogeogr.* **51**, 1148–1162 (2024).
17. L. F. Stegmann *et al.*, Brazilian public funding for biodiversity research in the Amazon. *Perspect. Ecol. Conserv.* **22**, 1–7 (2024).
18. J. M. Rivera-Pérez *et al.*, Spatio-temporal beta diversity of specialist and generalist aquatic insects in streams altered by mining activities in eastern Amazonia. *J. Insect Conserv.* **28**, 1171–1183 (2024).
19. D. S. Nogueira, L. B. Calvão, L. F. de Assis Montag, L. Juen, P. De Marco, Little effects of reduced-impact logging on insect communities in eastern Amazonia. *Environ. Monit. Assess.* **188**, 1–20 (2016).
20. L. B. Calvão, D. S. Nogueira, L. F. de Assis Montag, M. A. Lopes, L. Juen, Are Odonata communities impacted by conventional or reduced impact logging? *For. Ecol. Manag.* **382**, 143–150 (2016).
21. R. T. Martins, S. R. Couceiro, A. S. Melo, M. P. Moreira, N. Hamada, Effects of urbanization on stream benthic invertebrate communities in Central Amazon. *Ecol. Indic.* **73**, 480–491 (2017).
22. A. P. J. Faria, R. Ligeiro, L. B. Calvão, X. Giam, M. A. Leibold, L. Juen, Land use types determine environmental heterogeneity and aquatic insect diversity in Amazonian streams. *Hydrobiologia* **851**, 281–298 (2024).

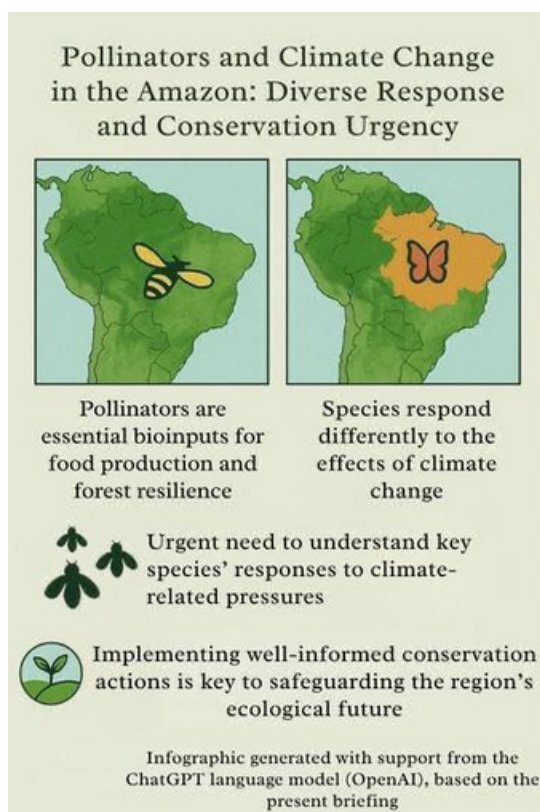
Polinizadores, mudanças climáticas e o futuro da Amazônia

Vera Lucia Imperatriz Fonseca

Universidade de São Paulo (USP)

Juliana Hipólito

Instituto Nacional da Mata Atlântica (INMA)



As mudanças climáticas representam ameaças críticas à biodiversidade amazônica e aos serviços ecossistêmicos. Polinizadores, especialmente espécies nativas de abelhas, são essenciais para manter a resiliência da floresta e a produtividade agrícola. Compreender sua vulnerabilidade às mudanças climáticas é fundamental para desenvolver estratégias de mitigação e orientar políticas públicas.

Introdução

Estudos recentes identificaram a Amazônia como uma região em risco de savanização, com implicações significativas para os sistemas sociobioeconômicos regionais e a possibilidade de atingir um ponto de não retorno, além do qual as mudanças ambientais podem se tornar irreversíveis (1,2). Nesse contexto, as reduções na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos foram destacadas, particularmente o papel da polinização na manutenção da estrutura florestal e da produção de alimentos (3,4,5). Pesquisas emergentes sobre abelhas polinizadoras (*Bombini* e *Meliponini*) no Brasil e na América do Sul têm avaliado possíveis mudanças em suas distribuições geográficas sob condições climáticas futuras (6,7). Esses estudos delimitam áreas com tendência a contrair, expandir ou permanecer estáveis, demonstrando respostas específicas por espécie aos cenários climáticos.

As projeções climáticas baseiam-se em dados de ocorrência de espécies provenientes de repositórios de acesso aberto (GBIF, *SpeciesLink*), levantamentos de campo e algoritmos padronizados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). As abordagens de modelagem podem focar em espécies individuais (8) ou em conjuntos de polinizadores (9), e em alguns casos incluem análises de redes de interação que informam políticas públicas voltadas ao bem-estar humano e à conservação (10). Um sistema estruturado de monitoramento de longo prazo da biota amazônica, alinhado aos cenários climáticos, é essencial para avançar nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 2, 3, 13, 15 e 17).

Estado da Arte

A mais recente geração de cenários de mudanças climáticas, formalizada no 6º Relatório de Avaliação do IPCC (AR6, 2023), baseia-se no Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados Fase 6 (CMIP6), que introduziu melhorias significativas na resolução espacial e na calibração de variáveis para projeções baseadas em emissões (11,12). O CMIP6 adota a estrutura dos Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (SSPs), que variam de mitigação rigorosa a emissões em cenário de continuidade.

No Brasil, estudos que avaliam os impactos das mudanças climáticas sobre polinizadores começaram em 2012 e desde então se expandiram para diversas regiões (13). Na Amazônia Oriental, pesquisas na bem preservada Floresta Nacional de Carajás servem como modelo para avaliar interações entre capital natural, uso da terra e mudanças climáticas. Entre 216 espécies de abelhas amostradas, projeções indicam que 85% perderão habitat adequado na região até 2050 (10).

A perda de biodiversidade relacionada ao clima também foi documentada para plantas de afloramentos ferruginosos (14), aves (15) e morcegos (16), reforçando expectativas de que a provisão de serviços ecossistêmicos será comprometida diferentes taxa. Estudos sobre o açaí (*Euterpe oleracea*) – um cultivo regional chave – demonstram que a qualidade do habitat influencia fortemente a abundância e diversidade de polinizadores, oferecendo subsídios para manejo adap-

tativo sob condições climáticas em mudança (17).

Avaliações econômicas baseadas em dados de 2017 do IBGE enfatizam o alto valor comercial do açaí e de outras culturas dependentes de polinização, como o cacau. Um estudo estimou o valor dos serviços de polinização em sistemas agroflorestais amazônicos em US\$ 156 milhões, sendo 82% atribuídos ao açaí (4,18). Dados de 2021 do IBGE destacam ainda o açaí (US\$ 738 milhões) e o cacau (US\$ 737 milhões) entre as cinco principais commodities agrícolas do Brasil (5). No caso do cacau amazônico, abelhas sem ferrão têm sido propostas como polinizadores manejáveis em protocolos de polinização assistida, com base em observações de que abelhas nativas diminutas também polinizam espécies relacionadas, como o cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) (19). Apesar dos avanços recentes, lacunas significativas de conhecimento persistem. Poucas espécies de polinizadores foram modeladas usando projeções climáticas baseadas no AR6. Metodologias promissoras estão sendo desenvolvidas para monitoramento estruturado, como aquelas envolvendo *Melipona fasciculata* (20). Duas espécies de mamangabas atualmente presentes em Carajás, *Bombus transversalis* e *B. brevivillus*, revelaram respostas contrastantes às mudanças climáticas projetadas: enquanto *B. transversalis* tende a deslocar-se para oeste com perda mínima de área, *B. brevivillus* deve contrair-se para leste (21). Esses padrões exemplificam uma tendência mais ampla: deslocamentos de distribuição na biota amazônica provavelmente se tornarão regra sob regimes climáticos futuros.

Recomendações

Para preencher lacunas críticas, recomendações recentes (13) defendem a priorização da resolução taxonômica, experimentos de tolerância térmica e monitoramento de longo prazo de polinizadores.

Para sistemas agrícolas, deve-se enfatizar culturas pouco estudadas, coleta de dados anuais de produção e incorporação do conhecimento ecológico tradicional em estratégias adaptativas.

Finalmente, dados de acesso aberto, ampla participação de partes interessadas e inclusão de iniciativas inter e transdisciplinares – como Ciência Cidadã – são essenciais para alinhar resultados de pesquisa com políticas e metas de conservação.

A conservação de populações de polinizadores com projeção de declínio é uma prioridade urgente. Bancos de DNA, especialmente de espécimes machos, devem ser implementados para preservar recursos genéticos destinados a estratégias futuras de resiliência.

Referências

1. M. J. Bottino, P. Nobre, E. Giarolla, *et al.*, Amazon savannization and climate change are projected to increase dry season length and temperature extremes over Brazil. *Sci Rep* **14**, 5131 (2024).
2. D. O. Brandão, J. Arieira, C. A. Nobre, Impactos das mudanças climáticas na sociobioeconomia da Amazônia. *Estudos Avançados* **38**(112), 249–270 (2024).
3. F. S. Paz, C. E. Pinto, R. M. Brito, V. L. Imperatriz-Fonseca, T. C. Giannini, Edible fruit plant species in the Amazon Forest rely mostly on bees and beetles as pollinators. *J Econ Entomol* **114**, 710–722 (2021).
4. W. Sabino, L. Costa, T. Andrade, *et al.*, Status and trends of pollination services in Amazon agroforestry systems. *Agric Ecosyst Environ* **335**, 108012 (2022).

5. W. Oliveira, L. F. Colares, R. G. Porto, *et al.*, Food plants in Brazil: origin, economic value of pollination and pollinator shortage risk. *Sci Total Environ* **912**, 169147 (2024).
6. F. S. Krechemer, C. A. Marchioro, Past, present and future distributions of bumblebees in South America: Identifying priority species and areas for conservation. *J Appl Ecol* **57**, 1829–1839 (2020).
7. V. P. Lima, C. A. Marchioro, Brazilian stingless bees are threatened by habitat conversion and climate change. *Reg Environ Change* **21**, 14 (2021).
8. D. Tregidgo, A. J. Campbell, S. Rivero, *et al.*, Vulnerability of the Açai Palm to Climate Change. *Hum Ecol* **48**, 505–514 (2020).
9. T. C. Giannini, W. F. Costa, R. C. Borges, *et al.*, Climate change in the Eastern Amazon: crop-pollinator and occurrence-restricted bees are potentially more affected. *Reg Environ Change* **20**, 9 (2020).
10. T. C. Giannini, C. Maia-Silva, A. L. Acosta, *et al.*, Protecting a managed bee pollinator against climate change: strategies for an area with extreme climatic conditions and socioeconomic vulnerability. *Apidologie* **48**, 784–794 (2017).
11. J. Schramek, New scenarios and a greater certainty in IPCC AR6. *Green Central Bank* (2021).
12. L. A. McBride, A. P. Hope, T. P. Canty, *et al.*, Comparison of CMIP6 historical climate simulations and future projected warming to an empirical model of global climate. *Earth Syst Dynam* **12**(2), 545–579 (2021).
13. T. C. Giannini, G. D. Cordeiro, W. F. Costa, *et al.*, Predicting climate change impacts on crop pollinators in Brazil. *Sociobiology* **72**(2), e11276 (2025).
14. T. C. Giannini, *et al.*, Flora of ferruginous outcrops under climate change: a study in the cangas of Carajás (Eastern Amazon). *Front Plant Sci* **12**, 699034 (2021).
15. L. S. Miranda, V. L. Imperatriz-Fonseca, T. C. Giannini, Climate change impact on ecosystem functions provided by birds in southeastern Amazonia. *PLoS ONE* **14**, e0215229 (2019).
16. W. F. Costa, M. Ribeiro, A. M. Saraiva, *et al.*, Bat diversity in Carajás National Forest (Eastern Amazon) and potential impacts on ecosystem services under climate change. *Biol Conserv* **218**, 200–210 (2018).
17. A. J. Campbell, L. G. Carvalheiro, M. M. Maués, *et al.*, Anthropogenic disturbance of tropical forests threatens pollination services to açai palm in the Amazon river delta. *J Appl Ecol* **55**, 1725–1736 (2018).
18. R. C. Borges, R. M. Brito, V. L. Imperatriz-Fonseca, T. C. Giannini, The value of crop production and pollination services in the eastern Amazon. *Neotrop Entomol* **49**, 545–556 (2020).
19. C. Maia-Silva, M. Hrnccir, T. C. Giannini, M. Toledo-Hernandez, V. L. Imperatriz-Fonseca, Small Amazonian stingless bees: an opportunity for targeted cocoa pollination. *Front Bee Sci* **2**, 1357811 (2024).
20. A. L. Acosta, C. F. dos Santos, V. L. Imperatriz-Fonseca, *et al.*, A methodological approach to identify priority zones for monitoring and assessment of wild bee species under climate change. *Front Bee Sci* **2**, 1–10 (2024).
21. P. Nunes-Silva, A. L. Acosta, R. C. Borges, *et al.*, Climate change will alter Amazonian bumblebees' distribution, but effects are species-specific. *Front Bee Sci* **3**, 15100 (2025).

Espécies exóticas invasoras na Amazônia

Luciana Carvalho Crema

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)

Ana Luiza Castelo Branco Figueiredo

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)

Tatiani Elisa Chapla

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)

Nivia Glaucia Pinto Pereira

Secretaria de Meio Ambiente, Clima e Sustentabilidade do Estado do Pará (SEMAS-PA)



Imagem gerada por inteligência artificial durante a editoração.

Introdução

De acordo com a COP6 da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), espécies exóticas invasoras (EEI) são espécies (subespécies ou variedades) introduzidas para além de sua área de distribuição natural (passada ou presente) e que ameaçam a diversidade biológica, incluindo qualquer parte, gametas, sementes, ovos ou propágulos que permitam que tal espécie possa sobreviver e posteriormente se reproduzir. Espécie exótica é considerada invasora quando sua introdução ou dispersão ameaçam a diversidade biológica. Normalmente, essas espécies apresentam vantagem competitiva sobre as nativas, o que permite sua rápida proliferação e expansão. Seus impactos podem ocorrer em diversos níveis, alterando a composição e a estrutura da comunidade, excluindo espécies nativas ou modificando processos ecológicos.

A Amazônia, com sua vasta diversidade de fauna e flora, é vulnerável à invasão por espécies exóticas que são trazidas para a região de forma acidental ou deliberada por atividades humanas, como o comércio de animais, a pecuária, a agricultura, o transporte de mercadorias e o turismo. Os impactos da introdução de EEI muitas vezes não são visíveis de imediato, mas, com o tempo, essas espécies podem superar as nativas em termos de competição por recursos, predação ou parasitar outras espécies, e até alterar o habitat de forma irreversível. Exemplos de EEI na Amazônia incluem a *Leucaena leucocephala*, árvore originária da América Central e do Norte cuja distribuição se expandiu para áreas da floresta tropical em locais não nativos, competindo com as espécies, inclusive endêmicas. Já o búfalo (*Bubalus bubalis*), introduzido na região para a produção de carne e leite, atualmente ocupa grandes áreas, afeta fortemente a vegetação nativa e transforma ecossistemas.

Estado da Arte

A detecção de impactos por espécies exóticas invasoras e seus registros em publicações científicas iniciaram apenas a partir dos anos 1980 (1). No Brasil, o aumento exponencial no número de publicações a respeito do tema só ocorreu a partir de 2005, com maior frequência nos últimos 10 anos, envolvendo principalmente a ocorrência de peixes em ecossistemas lênticos (2).

O Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) possui atribuições fundamentais no controle e manejo de espécies exóticas invasoras no Brasil. Cabe ao SISNAMA, por meio de seus órgãos e entidades, a implementação de políticas públicas, regulamentações e ações voltadas à prevenção da introdução, ao monitoramento, à erradicação e ao controle dessas espécies, que representam uma ameaça significativa à biodiversidade, aos ecossistemas nativos, à economia e à saúde humana.

Em 2018 foi publicada a Estratégia Nacional para Espécies Exóticas Invasoras (3), que tem como objetivo “orientar a implementação de medidas para evitar a introdução e a dispersão e reduzir significativamente o impacto de espécies exóticas invasoras sobre a biodiversidade brasileira e serviços ecossistêmicos, controlar ou erradicar espécies exóticas invasoras”. Ela provê direcionamento estratégico para a gestão e o manejo de EEI no Brasil para um período de 12 anos, até 2030. O Plano de Implementação da Estratégia Nacional para Espécies Exóticas Invasoras (4), tem horizonte temporal de 6 anos e define ações, articuladores, colaboradores e prazos da Estratégia Nacional.

O Brasil, no momento de redação deste texto, ainda não possui uma lista nacional oficial de EEI para todo seu território, mas, a norma encontra-se em elaboração pelo Ministério do Meio Ambien-

te e Mudança do Clima. Apesar disso, o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) publicou recentemente a Lista de EEI em Unidades de Conservação (UC) federais, por meio da Portaria ICMBio 510/2025 (5). Das 129 UC federais do bioma Amazônia, contam na lista 55 com registro de alguma EEI da fauna e apenas 28 da flora. Seus dados reforçam que, para a Amazônia, que apresenta cerca de 80% de áreas naturais remanescentes, o número de espécies invasoras é o mais baixo entre os domínios brasileiros (6,7). Ressalta-se, contudo, que a Amazônia é um dos biomas com menos estudos e, portanto, menos informações disponíveis sobre invasões biológicas (8). Entretanto, este cenário pode ser alterado a qualquer momento, já que com o aumento das taxas de desmatamento observados nos últimos anos, somadas ao efeito das mudanças climáticas, é esperada uma expansão na ocupação de gramíneas exóticas invasoras em florestas secundárias na Amazônia (9,10,11). Espera-se que as alterações nos regimes globais de temperatura e precipitação favoreçam o aumento da introdução, estabelecimento, disseminação, amplitude de distribuição e impacto de EEI.

O combate às EEI pode ser categorizado de acordo com diferentes fases de manejo (prevenção, erradicação e controle). Tais medidas são previstas na Política Nacional da Biodiversidade (12), assim como na Estratégia Nacional. De forma geral, tais estratégias de manejo seguem a seguinte lógica: a prevenção à introdução e dispersão é a alternativa de manejo de maior eficiência e menor custo. Caso essa alternativa não tenha sucesso e a espécie exótica seja introduzida, é recomendável adotar o conceito de detecção precoce e resposta rápida, visando a erradicação da EEI enquanto sua população ainda é pequena, restrita a uma área limitada e não estabelecida. Se essa abordagem também não surtir efeito e a espécie se estabelecer, restarão apenas as estratégias voltadas à contenção e ao controle dos danos (13,14,15).

Os impactos, sejam eles positivos ou negativos, que as espécies exóticas invasoras exercem sobre o bem-estar das populações humanas podem afetar diretamente a forma como essas espécies são percebidas e utilizadas (ou rejeitadas) pelas comunidades locais (16). Isso pode gerar divergências quanto à sua aceitação cultural e importância para a subsistência, resultando em disputas sobre as estratégias mais adequadas para seu manejo e controle (17,18).

A participação ativa das partes interessadas nos impactos dessas espécies é fundamental não apenas para prevenir, mas também para mitigar ou solucionar os conflitos decorrentes da introdução e do manejo das EEI. Tanto o planejamento, quanto a execução das medidas de manejo, dependem do comprometimento coletivo (poder público, privado, sociedade civil, organizações não-governamentais), o que é crucial para assegurar uma governança ambiental eficiente e equilibrada (19,11).

Recomendações

- Agir preventivamente, para impedir a introdução de espécies exóticas que possam representar riscos, seja por introduções deliberadas, autorizadas ou não, ou por ocorrências acidentais.
- Estabelecer iniciativa contínua, principalmente sob gestão dos estados que compõem a Amazônia Legal, para o manejo e implementação de programas e políticas públicas voltadas às EEI.
- Elaborar ações e iniciativas voltadas à educação, divulgação de informações e conscientização da população urbana, tradicional, rural e ribeirinha quando ao risco da introdução de EEI.

- Revisar, fortalecer e instituir arcabouço legal que normatize as ações propostas nos mais diversos níveis, adotando os conceitos e definições trazidas pela CBD.
- Fortalecer a capacidade técnica relacionada às espécies exóticas invasoras, bem como aprimorar a estrutura de órgãos públicos, essenciais para o planejamento e a execução das ações.
- Criar mecanismos de fomento para viabilizar ações eficazes de prevenção, controle e erradicação de EEI, garantindo recursos financeiros e apoio técnico contínuo às iniciativas voltadas à conservação da biodiversidade.
- Promover a cooperação internacional com países transfronteiriços (e aqueles que detém tecnologia) para enfrentar as EEI de forma coordenada e eficaz, pois a expansão de fronteiras exige esforços conjuntos para prevenção, controle e compartilhamento de informações e boas práticas entre os países.
- Promover pesquisas e consolidar conhecimento científico para embasar decisões, desenvolver tecnologias e estratégias eficazes e compreender os impactos das EEI.
- Mobilizar para o engajamento da sociedade para ampliar a vigilância sob as EEI, para fortalecer as ações de prevenção e controle e promover uma cultura de responsabilidade compartilhada na proteção da Amazônia.

Referências

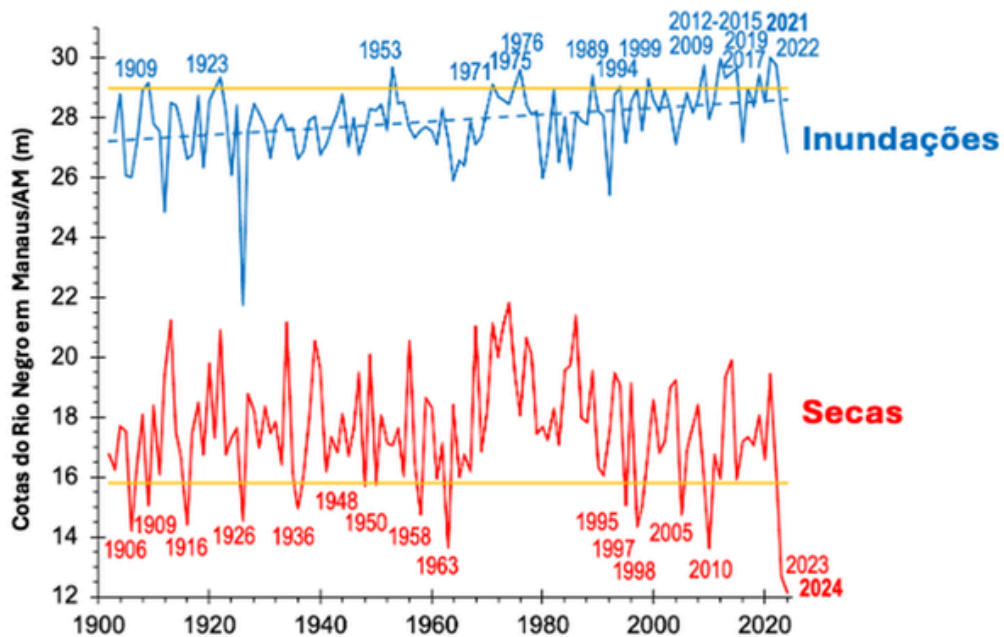
1. R. T. Guerra, N. Asakawa, Efeito da presença e do número de indivíduos de *Pontoscolex corethurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta) sobre a população total de microorganismos no solo. *Acta Amaz.* **11**, 319–324 (1981).
2. R. D. Zenni, M. F. G. Brito, J. C. Creed, G. M. Antar, J. R. Fabricante, M. C. Silva-Forsberg, S. M. Futada, R. L. Macêdo, F. M. Pelicice, A. C. Petry, G. S. Santos, S. A. Santos, L. M. Vieira, J. A. C. Zequi, Capítulo 2: Status e tendências sobre espécies exóticas invasoras no Brasil. in *Relatório Temático sobre Espécies Exóticas Invasoras, Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos*, M. S. Dechoum, A. O. R. Junqueira, M. L. Orsi, Eds. (Editora Cubo, 2024), pp. 49–91.
3. Comissão Nacional da Biodiversidade (CONABIO), Resolução nº 7 de 29 de maio de 2018, que dispõe sobre a Estratégia Nacional para Espécies Exóticas Invasoras. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=138909/> (Acessado em 19 de maio de 2025).
4. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), Portaria nº 3, de 16 de Agosto de 2018, que institui o Plano de Implementação da Estratégia Nacional para Espécies Exóticas Invasoras. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-3-de-16-de-agosto-de-2018-37213106/> (Acessado em 14 de maio de 2025).
5. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Portaria ICMBio Nº 510, de 11 de fevereiro de 2025, que reconhece a Lista de Espécies Exóticas Invasoras em Unidades de Conservação federais. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-icmbio-n-510-de-11-de-fevereiro-de-2025-612337212/> (Acessado em 14 de maio de 2025).
6. R. D. Zenni, M.-S. Dechoum, Paisagens antropizadas e invasão por plantas exóticas. in *Conservação da biodiversidade em paisagens antropizadas do Brasil*, C. A. Peres, J. Barlow, T. A. Gardner, I. C. G. Vieira, Eds. (Editora UFPR, 2013), pp. 549–563.

7. R. D. Zenni, The naturalized flora of Brazil: a step towards identifying future invasive non-native species. *Rodriguésia* **66**, 1137–1144 (2015).
8. F. D. A. Frehse, R. R. Braga, G. A. Nocera, J. R. S. Vitule, Non-native species and invasion biology in a megadiverse country: scientometric analysis and ecological interactions in Brazil. *Biol. Invasions* **18**, 3713–3725 (2016).
9. B. L. Faria, A. Saal, C. A. Silva, P. A. Martin, P. K. Panday, V. L. Dantas, Climate change and deforestation increase the vulnerability of Amazonian forests to post-fire grass invasion. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **30**, 2368–2381 (2021).
10. G. B. Mano, A. Lopes, M. T. F. Piedade, Will climate change favor exotic grasses over native ecosystem engineer species in the Amazon Basin? *Ecol. Inform.* **75**, 102102 (2023).
11. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Guia de Orientação para o manejo de espécies exóticas invasoras em Unidades de Conservação federais. 4th ed. (Instituto Chico Mendes, Brasília, DF, 2023). Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/manejo-de-especies-exoticas-invasoras/guias-e-materiais-orientadores/guias/copy3_of_Guia_de_orientacao_para_o_manejo_de_especies_exoticas_invasoras_em_unidades_de_conservacao_federais_v4_outubro.pdf/ (Acessado em 14 de maio de 2025).
12. Brasil, Decreto nº 4.339, de 22 de agosto de 2022, que institui princípios e diretrizes para a implementação da Política Nacional da Biodiversidade. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4339.htm/ (Acessado em 14 de maio de 2025).
13. R. N. Mack, D. Simberloff, W. M. Lonsdale, H. Evans, M. Clout, F. A. Bazzaz, Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences and control. *Ecol. Appl.* **10**, 689–710 (2000).
14. D. Simberloff, Eradication of island invasives: practical actions and results achieved. *Trends Ecol. Evol.* **16**, 273–274 (2001).
15. M. Poorter, S. R. Ziller, Biological contamination in protected areas: the need to act and turn the tide of invasive alien species. in *IV Congresso de Unidades de Conservação Anais* (2004), pp. 118–128.
16. M. García-Llorente, B. Martín-López, J. A. González, P. Alcorlo, C. Montes, Social perceptions of the impacts and benefits of invasive alien species: Implications for management. *Biol. Conserv.* **141**, 2969–2983 (2008).
17. S. R. Ziller, S. M. Zalba, R. D. Zenni, Modelo para o desenvolvimento de uma estratégia nacional para espécies exóticas invasoras. Programa de Espécies Exóticas Invasoras para a América do Sul – The Nature Conservancy. Programa Global de Espécies Invasoras – GISP (2007).
18. C. A. Kull, Critical invasion science: weeds, pests, and aliens. in *The Palgrave Handbook of Critical Physical Geography*, L. R. C. Biermann, S. N. Lane, Eds. (Palgrave Macmillan, 2018), pp. 249–272.
19. R. T. Shackleton, B. M. H. Larson, A. Novoa, D. M. Richardson, C. A. Kull, The human and social dimensions of invasion science and management. *J. Environ. Manage.* **229**, 1–9 (2019).

Secas na Amazônia

Jose A. Marengo

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden)



Níveis máximos (linhas azuis) e mínimos (linhas vermelhas) do Rio Negro no Porto de Manaus de 1902 a novembro de 2024. Os números azuis e vermelhos indicam enchentes e secas recordes, respectivamente. As linhas laranjas representam os limites superior (29,0 m) e inferior (15,8 m) para definir enchentes e secas, respectivamente. Os valores estão em metros. Fonte: J. Schongart, INPA

Introdução

Secas intensas na Amazônia têm aumentado em frequência e intensidade, de quatro em um século para quatro em menos de 25 anos. Desde o início do século XXI, quatro secas intensas (2005, 2010, 2015-2016 e 2023-2024) foram classificadas como eventos que ocorrem “uma vez em cem anos” quando aconteceram. No entanto, cada uma delas foi superada em magnitude pelo evento seguinte (1,2,3). As causas das secas estão associadas à presença do fenômeno *El Niño* e também ao Atlântico Tropical Norte mais quente.

A sinergia entre secas, desmatamento, incêndios e degradação florestal tem o potencial de levar a Amazônia a um ponto crítico, em que esse ecossistema de importância global pode reduzir significativamente sua capacidade de fornecer serviços essenciais, como reciclagem de água, armazenamento de carbono e fornecimento de bens para o bem-estar humano. As secas aumentam a mortalidade de árvores e, portanto, a perda de biomassa, colocando em risco o funcionamento do sumidouro de carbono fornecido pelo crescimento das árvores. Mais recentemente, a Bacia Amazônica sofreu uma seca extrema que começou no verão austral de 2022-2023 e se estendeu até 2024. Esta seca começou mais cedo do que outras secas anteriores. Embora tenha havido alguma chuva durante o verão austral, os totais permaneceram abaixo da média. Temperaturas mais altas durante o inverno e a primavera austral de 2023, que afetaram a maior parte da América do Sul central, agravaram as condições de seca.

Estado da Arte

As últimas décadas foram as mais quentes já registradas na Amazônia e no mundo, sendo o ano de 2024 o mais quente da história. A seca de 2023-2024 é marcada por chuvas excepcionalmente escassas e sete ondas de calor durante a estação seca e a pré-chuva, que varia de seca a chuvosa. Os níveis dos rios estão baixos e os incêndios aumentaram (4,5). Déficits de umidade do solo levaram a altas temperaturas e ondas de calor mais frequentes e severas no verão, como atestam modelos e observações (3). Em 2024, as áreas afetadas por secas severas excepcionais incluem as regiões da Amazônia e do Pantanal, o centro e o norte da América do Sul, o oeste do país.

Essas alterações causadas pela seca e pelo calor levaram ao aumento da mortalidade de peixes e mamíferos aquáticos, à falta de água potável e alimentos para as comunidades ribeirinhas, à interrupção do transporte fluvial, ao aumento do risco de doenças transmitidas pela água e à desfolha acentuada da vegetação ribeirinha, o que pode sinalizar a morte da vegetação e aumentar o risco de incêndios (5). Esses impactos na fauna aquática amazônica, não observados em secas anteriores, indicam a gravidade da seca sem precedentes na Amazônia em 2023-2024. Em 2023, as águas amazônicas sofreram alta mortalidade de peixes, botos-cor-de-rosa e outros mamíferos devido à maior temperatura da água e à diminuição da oxigenação (6). As secas têm efeitos duradouros na fauna aquática, como as mudanças na composição e nos tipos funcionais das espécies de peixes causadas pelo evento de 2005, que ainda estão presentes 10 anos depois.

A queda dos níveis dos rios na Amazônia impacta a população ribeirinha e as comunidades indígenas, limitando o acesso a bens essenciais e serviços básicos (7). O nível do rio Negro em Manaus caiu para 12,11 m em 10 de outubro, o nível mais baixo no registro de 112 anos (3). Impactos na população se refletem em níveis baixos dos rios amazônicos, que afetam o transporte da população e cargas ao longo da Amazônia, deixando comunidades indígenas isoladas.

Entre 2001 e 2018, condições extremas de seca degradaram uma área total de 2.740.647 km² na ba-

cia (8). As secas aumentam consideravelmente a incidência de incêndios na Amazônia, conforme relatado em 2005, 2010, 2015 e 2023. Isso leva a um *feedback* positivo entre incêndios e secas (9,2).

Além disso, análises recentes de Clarke *et al.* (10) mostram que as mudanças climáticas têm exacerbado os impactos do *El Niño* na Amazônia central e setentrional. O *El Niño* e as mudanças climáticas foram responsáveis, cada um, por 50% da redução na precipitação do inverno e da primavera austrais de 2023. A intensidade da seca de 2015-2016 também foi associada a causas antropogênicas (11).

Secas intensas recentes na Amazônia ilustram uma anomalia climática extrema que pode se tornar mais frequente e intensa se nenhuma ação for tomada para conter as mudanças climáticas. A adaptação às secas requer abordagens multissetoriais e uma governança forte. Intervenções em infraestrutura, agricultura, saneamento, acesso à água potável e saúde, e o estabelecimento de sistemas de monitoramento e alerta precoce de secas podem ajudar a minimizar os impactos e perdas socioeconômicas e ambientais.

Ainda existem algumas lacunas no conhecimento sobre os extremos climáticos na Amazônia, e se devem ser atribuídos à variabilidade climática ou às mudanças climáticas (por exemplo, mudanças no uso da terra na forma de desmatamento, aumento das emissões de gases de efeito estufa). Os países que compõem a Amazônia ainda carecem de meios para monitorar de forma abrangente os sistemas climáticos e hidrológicos. Uma melhor compreensão desses sistemas poderia auxiliar no desenvolvimento e na implementação de programas de adaptação direcionados a populações vulneráveis, como os povos indígenas. Para lidar com os impactos da seca, programas de monitoramento climático e hidrológico e sistemas de alerta precoce para secas devem ser implementados na escala regional. Outras ações devem incluir previsões climáticas sazonais e hidrológicas continentais, bem como o compartilhamento de dados entre os países amazônicos. A adoção de sistemas agroflorestais e agroecológicos diversificados para melhorar a segurança alimentar e a gestão dos recursos naturais tem funcionado no Brasil. As estratégias e políticas de adaptação devem ser baseadas em uma compreensão abrangente das realidades locais de diferentes grupos socioeconômicos e regiões.

Recomendações

No relatório de políticas do *Science Panel for the Amazon* (SPA), elaborado pela APA em 2024 (7), as seguintes recomendações foram propostas:

- Interromper o desmatamento e a degradação florestal e estabelecer um programa para identificar áreas prioritárias que requerem conservação imediata, além de reforçar a proteção daquelas já formalmente protegidas, incluindo terras indígenas e zonas de amortecimento ao redor das áreas protegidas. Todas essas ações são necessárias para garantir a produção de água da floresta.
- Promover a criação de novos empregos com impacto climático inteligente no setor de conservação, a fim de gerar fontes alternativas de receita. Uma dessas alternativas é a adoção de sistemas agroflorestais e agroecológicos diversificados como parte dos processos de restauração, melhorando a segurança alimentar, a gestão dos recursos naturais e os meios de subsistência alternativos.
- Implementar programas de monitoramento e sistemas de alerta precoce para secas, incluindo:

modelos globais e regionais do sistema terrestre e modelos hidrológicos continentais, dos Andes ao Oceano Atlântico; detecção de sinais precoces de estresse animal e vegetal devido à seca.

- Harmonização de políticas sobre gestão integrada de incêndios, monitoramento de incêndios em tempo real e compartilhamento de dados entre jurisdições.
- Avaliar a vulnerabilidade e a exposição das populações por meio de uma abordagem intersetorial para a formulação de políticas; as ações devem ser baseadas em uma compreensão abrangente das realidades locais de diferentes grupos socioeconômicos e regiões.
- Investir na capacitação de populações e governos locais para acesso direto a diversos mecanismos financeiros de adaptação e na coprodução de soluções com populações rurais e urbanas locais para gerenciar desastres causados pela seca. Priorizar esforços de pesquisa e monitoramento para preencher lacunas de dados ambientais, ecológicos e socioeconômicos.

Referências

1. J. Barichivich, E. Gloor, P. Peylin, R. Brienen, J. Schongart, J. C. Espinoza, *et al.*, Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation. *Sci Adv* **4**, eaat8785 (2018).
2. J. C. Espinoza, J. Jimenez, J. A. Marengo, J. Schongart, J. Ronchail, W. Lavado-Casimiro, *et al.*, The new record of drought and warmth in the Amazon in 2023 related to regional and global climatic features. *Sci Rep* **14**, 8107 (2024).
3. J. A. Marengo, J. Espinoza, R. Fu, J. Schongart, J. Jiménez, M. Costa, J. Ribeiro, J. Wongchuig, S. Zhao, The drought of Amazonia in 2023–2024. *Am J Clim Change* **13**, 567–597 (2024).
4. World Meteorological Organization (WMO), *State of the Climate in Latin America and the Caribbean 2024* (WMO, Geneva, 2025), 26 pp.
5. J. C. Jiménez, V. Miranda, I. Trigo, R. Libonati, R. Albuquerque, L. F. Peres, *et al.*, Vegetation warming and greenness decline across Amazonia during the extreme drought of 2023. *Remote Sens* **16**, 2519 (2024).
6. A. Fleischmann, F. Papa, S. Hamilton, J. Melack, *et al.*, *Extreme warming of Amazon waters in a changing climate* (2024).
7. F. Costa, J. A. Marengo, A. Albernaz, *et al.*, *Policy brief: Droughts in Amazonia*, Science Panel for Amazon (SPA) (2024).
8. D. M. Lapola, P. Pinho, J. Barlow, L. E. O. Aragão, S. Berenguer, R. Carmenta, *et al.*, The drivers and impacts of Amazon forest degradation. *Science* **379**, eabp8622 (2023).
9. L. E. P. C. Aragão, L. O. Anderson, M. Fonseca, T. Rosan, L. B. Vedovato, F. H. Wagner, *et al.*, 21st century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nat Commun* **9**, 536 (2018).
10. B. Clarke, C. Barnes, R. Rodrigues, M. Zachariah, S. Stewart, E. Raju, N. Baumgart, R. Libonati, D. Santos, S. Albuquerque, L. M. Alves, F. Otto, *Climate change, not El Niño, main driver of exceptional drought in highly vulnerable Amazon River Basin* (2024).
11. G. G. Ribeiro, L. O. Anderson, N. J. C. Barretos, R. Abreu, L. Alves, B. Dong, *et al.*, Attributing the 2015/2016 Amazon Basin drought to anthropogenic influence. *Clim Resil Sustain* **1**, e25 (2022).

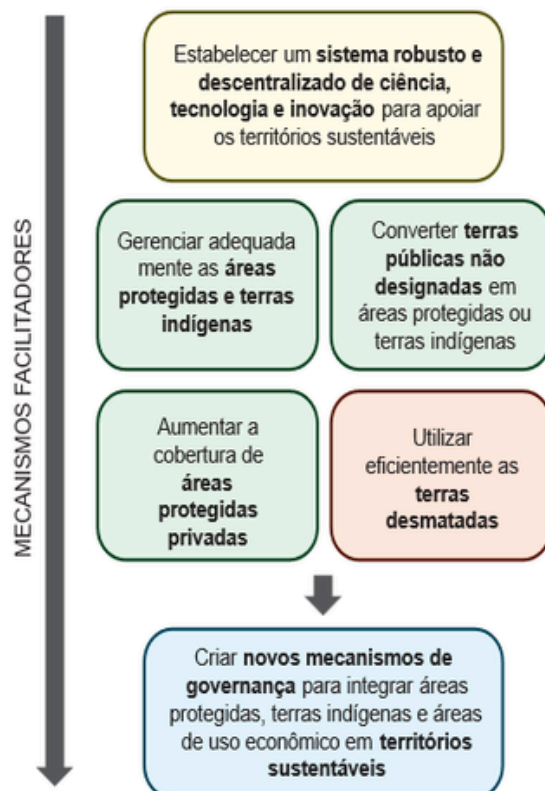
Vulnerabilidade socioambiental e ameaças ao bioma Amazônia

Ima Célia Guimarães Vieira

Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG)

José Maria Cardoso da Silva

University of Miami



Introdução

A Amazônia, última fronteira econômica sul-americana, experimenta transformação acelerada pela expansão do modelo convencional de desenvolvimento (1), baseado na exploração inadequada de recursos naturais. Este modelo expandiu-se via infraestrutura que ignora a heterogeneidade regional, crescendo por pulsos de demandas instáveis: borracha, colonização, minérios, agricultura e, recentemente, mercado de carbono.

Os resultados são pífios. Socialmente, a região mantém os mais baixos indicadores do Brasil. Do ponto de vista econômico, permanece dependente da exportação de commodities de baixo valor agregado. No aspecto ambiental, 20% da Amazônia foi transformada ineficientemente, com 15% convertida pastagens de baixa produtividade e diversidade. Além disso, 40% das florestas em pé estão degradadas por incêndios, efeito de borda, caça, extração ilegal e secas extremas.

Apesar das suas limitações, o modelo de desenvolvimento convencional não demonstra sinais de esgotamento. Entre 1985 e 2023, a agropecuária expandiu de 3% para 16% do bioma (2). Grandes projetos de infraestrutura constituem outro fator de pressão, desencadeando ocupação desordenada. A mineração amplia-se e o garimpo ilegal expandiu-se significativamente, afetando Terras Indígenas e Unidades de Conservação, com impactos devastadores na contaminação por mercúrio e desintegração social (3).

As mudanças climáticas constituem ameaça e amplificador de vulnerabilidade. Essas transformações impactam diretamente serviços ecossistêmicos como ciclos hidrológicos, regulação climática (do local ao global) e biodiversidade, comprometendo a qualidade de vida de milhões de pessoas, incluindo populações tradicionais, indígenas e ribeirinhas. Este cenário complexo demanda uma análise aprofundada das vulnerabilidades socioambientais da região amazônica e das múltiplas ameaças que comprometem sua resiliência ecossistêmica e social.

Estado da Arte

O desenvolvimento de uma sociedade (em qualquer escala política, desde local a global) depende fundamentalmente de como se gerenciam os recursos territoriais. Esses recursos constituem duas infraestruturas essenciais: a ecológica, que engloba ecossistemas nativos ou restaurados manejados para conservação da biodiversidade e serviços ecossistêmicos; e a socioeconômica, que inclui estruturas humanas para produção e distribuição de serviços como alimentação, saúde, educação, transporte e energia (4). Sociedades sustentáveis são aquelas que criam sistemas de governança baseados na melhor ciência disponível para equilibrar ambas as infraestruturas e maximizar o bem-estar populacional.

Diversos estudos demonstram que o desenvolvimento convencional tem aumentado a vulnerabilidade socioambiental dos municípios amazônicos. Silva *et al.* (5) analisaram as infraestruturas dos 517 municípios amazônicos, identificando que 275 municípios apresentaram escores baixos para infraestrutura ecológica, abrangendo 665.253 km² e 8,3 milhões de habitantes. Paralelamente, 476 municípios possuem escores muito baixos para infraestrutura socioeconômica, cobrindo 3,9 milhões de km² com 14,4 milhões de pessoas. O índice integrado de vulnerabilidade socioambiental revelou três grupos: 134 municípios com escores médios (2,5 milhões de km²; 9,9 milhões de pessoas); 264 municípios com escores baixos (1,6 milhão de km²; 8,5 milhões de pessoas); e 117 municípios com escores muito baixos (172.065 km²; 2,9 milhões de pessoas), classificados como *hotspots* sociais regionais, concentrados principalmente no Maranhão (68 muni-

cípios) e Pará (34 municípios), e em Tocantins (6 municípios), Mato Grosso (5 municípios), Rondônia (3 municípios) e Acre (1 município).

Um indicador para identificar municípios prioritários para a implementação de políticas e estratégias de adaptação baseada em ecossistemas (AbE) às mudanças climáticas no Brasil foi desenvolvido por Kasecker et al. (6). O indicador considera três parâmetros-chave: níveis de pobreza (indicador de infraestrutura socioeconômica), a proporção de cobertura de vegetação natural (indicador de infraestrutura ecológica) e a exposição às mudanças climáticas (indicador de mudança climática), com base no entendimento de que as populações vulneráveis são as mais afetadas pelas mudanças climáticas e que a conservação da biodiversidade auxilia na adaptação. Os autores encontraram que 97 municípios prioritários para AbE estão na Amazônia. Estes municípios representam 82% da área dos *hotspots* de AbE no Brasil e 83% da cobertura de vegetação nativa restante no Brasil.

De modo geral, municípios amazônicos com altas taxas históricas de desmatamento não apresentam melhores índices de desenvolvimento humano em comparação com municípios que preservaram sua cobertura florestal (7). Esta constatação contradiz a narrativa de que o desmatamento promove desenvolvimento econômico e social, sugerindo que o modelo convencional de desenvolvimento vigente na região beneficia principalmente atores externos, sem gerar melhorias significativas nas condições de vida das populações locais. Entre os principais prejudicados por este modelo de desenvolvimento estão as populações tradicionais, como ribeirinhos, quilombolas e extrativistas, assim como os povos indígenas, pois eles estão frequentemente sujeitos a pressões de agentes externos à região que possuem modos de vida, valores e visões de vida muito diferentes.

Como as populações locais possuem menor poder político comparado com os grupos dominantes que controlam a política local, eles encontram-se em posições mais vulneráveis, no que diz respeito às negociações sobre o futuro da região, apesar de eles serem reconhecidamente os principais guardiões da floresta. Dados recentes, por exemplo, demonstram que as Terras Indígenas na Amazônia perderam menos de 1% de sua cobertura florestal entre 1985 e 2023, enquanto áreas privadas perderam aproximadamente 28% no mesmo período (2). Esta disparidade evidencia o papel fundamental dessas comunidades na conservação da biodiversidade e na manutenção dos serviços ecossistêmicos amazônicos (8).

De modo geral, o modelo convencional de desenvolvimento aumenta a vulnerabilidade socioambiental na Amazônia e reduz a capacidade das sociedades locais em responderem a choques e estresses externos e internos.

Recomendações

Atualmente, a maioria (54%) dos municípios da Amazônia Brasileira possuem trajetórias insustentáveis de desenvolvimento (9) e este processo precisa ser revertido. A única contrapartida ao modelo convencional dominante é o desenvolvimento sustentável, que visa promover alto nível de desenvolvimento humano equilibrando as infraestruturas ecológicas e socioeconômicas (4). Propomos implementar este modelo através da delimitação de, pelo menos, 85 territórios sustentáveis, definidos como grandes áreas onde a integridade ecológica e a prosperidade humana podem ser mantidas por gerações (10). Delimitar estes territórios considera a grande heterogeneidade socioambiental regional nos planos de desenvolvimento. Para cada território, Vieira & Silva (10) sugeriram estruturas de governança coordenando ações dos diferentes setores

locais, facilitando diálogo e negociação, e integrando ações de base para consolidar os territórios sustentáveis. Seis ações estratégicas regionais foram propostas:

- Estabelecer sistema regional robusto de ciência, tecnologia e inovação para conduzir pesquisas aplicadas, capacitar população local, fomentar inovação e empreendedorismo, e guiar políticas através de monitoramento em tempo real.
- Gerenciar adequadamente áreas protegidas e terras indígenas existentes, cruciais para controle do desmatamento e proteção dos direitos territoriais das populações indígenas e tradicionais.
- Converter terras públicas não designadas em áreas protegidas ou terras indígenas, pois são suscetíveis à grilagem, especulação e desmatamento ilegal, sendo focos de conflitos socioambientais.
- Aumentar cobertura de áreas protegidas privadas, já que terras privadas representam 1,6 milhão de km² da Amazônia brasileira, exigindo implementação de Reserva Legal (RL) e Áreas de Preservação Permanente (APPs).
- Utilizar eficientemente terras desmatadas, pois 87,5% são ocupadas por pastagens - os menos eficazes usos da terra, gerando baixos retornos econômicos e impulsionando mais desmatamento.
- Criar condições favoráveis de governança para superar falta de financiamento e lacunas de coordenação. Os custos anuais para gerenciar áreas protegidas são justificáveis, representando pequena porcentagem do orçamento nacional (8). As lacunas de coordenação resultam de decisões externas e políticas fragmentadas entre agências (11).

É importante enfatizar que a construção de territórios sustentáveis na Amazônia brasileira exige colaboração global contínua e duradoura, orientada pelo conhecimento científico e pelas aspirações das comunidades regionais. A ausência dessa abordagem pode resultar em severos riscos socioambientais de repercussão mundial imprevisível.

Referências

1. B. Becker, Geopolítica da Amazônia. *Estudos Avançados* **19**, 71-86 (2005).
2. MapBiomas, Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil (2023).
3. C. M. Vega, J. D. Y. Orellana, M. W. Oliveira, S. S. Hacon, P. C. Basta, Human Mercury Exposure in Yanomami Indigenous Villages from the Brazilian Amazon. *Int J Environ Res Public Health* **15**, 1051 (2018).
4. J. M. C. Silva, J. Topf, Conservation and development: a cross-disciplinary overview. *Environmental Conservation* **47**, 234-242 (2020).
5. J. M. C. Silva, S. Prasad, Green and socioeconomic infrastructures in the Brazilian Amazon: implications for a changing climate. *Climate and Development* **11**, 153-166 (2019).
6. T. P. Kasecker, M. B. Ramos-Neto, J. M. C. Silva, F. R. Scarano, Ecosystem-based adaptation to climate change: defining hotspot municipalities for policy design and implementation in Brazil. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* **23**, 981-993 (2018).

7. J. M. C. Silva, S. Prasad, J. A. F. Diniz-Filho, The impact of deforestation, urbanization, public investments, and agriculture on human welfare in the Brazilian Amazonia. *Land Use Policy* **65**, 135-142 (2017).
8. J. M. C. Silva, L. C. F. Barbosa, J. Topf, I. C. G. Vieira, F. R. Scarano, Minimum costs to conserve 80% of the Brazilian Amazon. *Perspectives in Ecology and Conservation* **20**, 216-222 (2022).
9. J. Topf, L. A. Schultz, J. M. C. Silva, An index to measure the sustainability of place-based development pathways. *Ecological Economics* **204**, 107645 (2023).
10. I. C. G. Vieira, J. M. C. Silva, Zero deforestation and degradation in the Brazilian Amazon. *Trends in Ecology & Evolution* **39**, 413-416 (2024).
11. I.C.G. Vieira. Desafios para o enfrentamento da crise ambiental da Amazônia. *Ciência e Cultura* **75** (4):1-7 (2023).

O impacto das mudanças climáticas na Amazônia sobre as populações originárias

Ruben George Oliven

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)



Crédito: Ana Claudia Jatthy - MTUR

Sendo a maior floresta tropical do mundo, a Amazônia, além de desempenhar um papel fundamental na regulação climática, é o habitat de vários povos indígenas, que têm seus modos de vida e sua cultura intimamente ligados ao meio ambiente em que vivem. O clima tem um lugar preponderante nesse ecossistema.

A Amazônia é lar de centenas de povos indígenas e comunidades tradicionais, cuja sobrevivência física, cultural e espiritual está intimamente ligada à integridade ambiental da floresta. As comunidades indígenas da Amazônia têm vivido em harmonia com a floresta por milênios e desenvolveram uma compreensão íntima da biodiversidade que as cerca. Elas se consideram como fazendo parte da natureza e entendem a natureza como parte de suas comunidades.

A sólida relação entre a biodiversidade e os povos indígenas da Amazônia se reflete em uma rica gama de conhecimentos tradicionais, no desenvolvimento de sistemas complexos de agricultura, no manejo florestal e de recursos naturais e em conhecimentos medicinais. Esses conhecimentos incluem a agricultura de várzea, a domesticação de espécies selvagens e o uso de plantas para cura.

Entretanto, nas últimas décadas, a Amazônia tem experimentado importantes mudanças climáticas que, somadas a atividades humanas danosas, impactam fortemente seu meio ambiente. Isto se dá tanto pelo aquecimento global quanto pelo desmatamento e pelas queimadas. O aumento de temperatura, a alteração do regime de chuvas, as secas e as enchentes, a perda de diversidade são algumas das consequências dessas mudanças climáticas.

Essas transformações impactam de forma acentuada as populações originárias, que têm seus modos de vida tradicionais afetados de formas dramáticas. Elas ameaçam a alimentação, a saúde e a continuidade das práticas culturais desses povos. Os impactos se fazem sentir em várias dimensões.

Um dos primeiros impactos é sentido na alimentação. A segurança alimentar das populações originárias é obtida através da caça, da pesca e da coleta de alimentos e da agricultura de subsistência. Alterações climáticas, como o ciclo das chuvas, têm um forte impacto no cultivo de alimentos. Assim, as secas, ao reduzir o nível dos rios, tornam mais difícil a pesca e as enchentes destroem plantações.

Da mesma forma, a mobilidade de grupos indígenas fica prejudicada por secas que tornam os rios inavegáveis, impedindo que eles possam se locomover e, dessa forma, deixando-os isolados.

Do ponto de vista da saúde, o aumento da temperatura - um dos efeitos das alterações climáticas - afeta as sociedades indígenas, ao criar condições favoráveis à proliferação de doenças. Isto se refere, entre outras enfermidades, à malária, ao dengue e à leishmaniose.

Os modos de vida tradicionais dos povos indígenas são fortemente impactados pelas consequências das alterações climáticas. Ao afetar a alimentação, a saúde e o modo de vida tradicional, essas mudanças produzem desestruturas nos modos tradicionais que dão unidade e integridade a esses grupos.

A cultura dos povos originários também é afetada pelas mudanças climáticas. O conhecimento indígena está vinculado aos ciclos naturais. Quando esses são alterados, a transmissão de saberes e a realização de práticas tradicionais ficam afetadas. Rituais que são parte fundamental da vida desses grupos ficam impossibilitados de serem realizados pela escassez de certas espécies vegetais.

Isso contribui para a desestruturação dos modos de vida tradicionais, ameaçando seriamente suas culturas.

A soma desses fatores, ao dificultar a manutenção dos modos de vida tradicionais, gera estresse e cria uma sensação de vulnerabilidade, afetando a saúde emocional das populações indígenas.

As mudanças climáticas na Amazônia configuram uma crise socioambiental que ameaça simultaneamente a biodiversidade global e a sobrevivência física e cultural das populações originárias. Os impactos vão muito além das variações meteorológicas: atingem modos de vida, estruturas sociais, sistemas alimentares e práticas espirituais que dependem da estabilidade ecológica da floresta.

A preservação da Amazônia e a resiliência de suas populações originárias são elementos inseparáveis – e a proteção de um implica necessariamente a proteção do outro.

A crise climática na região é, portanto, não apenas uma questão ambiental, mas também ética e política: ela coloca em xeque a capacidade da sociedade global de reconhecer e valorizar formas de vida que, há milênios, têm sabido viver em equilíbrio com a floresta.

Recomendações

1. Garantia de direitos territoriais e ambientais

- Acelerar a demarcação e a proteção das terras indígenas.
- Reconhecer internacionalmente o papel dos povos originários como guardiões da floresta.

2. Segurança alimentar e adaptação climática

- Apoiar sistemas alimentares indígenas (bancos de sementes, agroflorestas, manejo sustentável da pesca e caça).
- Investir em infraestrutura resiliente para garantir mobilidade durante secas e enchentes.

3. Saúde e bem-estar

- Reforçar políticas de saúde indígena diante de doenças agravadas pela crise climática.
- Integrar práticas medicinais tradicionais nos sistemas de saúde.
- Desenvolver programas de apoio à saúde mental e ao bem-estar comunitário.

4. Cultura e transmissão de saberes

- Financiar iniciativas de preservação cultural e de práticas espirituais.
- Proteger espécies essenciais para rituais e conhecimentos tradicionais.

5. Justiça climática e financiamento

- Criar mecanismos de financiamento direto e simplificado para povos indígenas em fundos climáticos internacionais.
- Reconhecer a dívida socioambiental histórica com medidas de compensação justa.

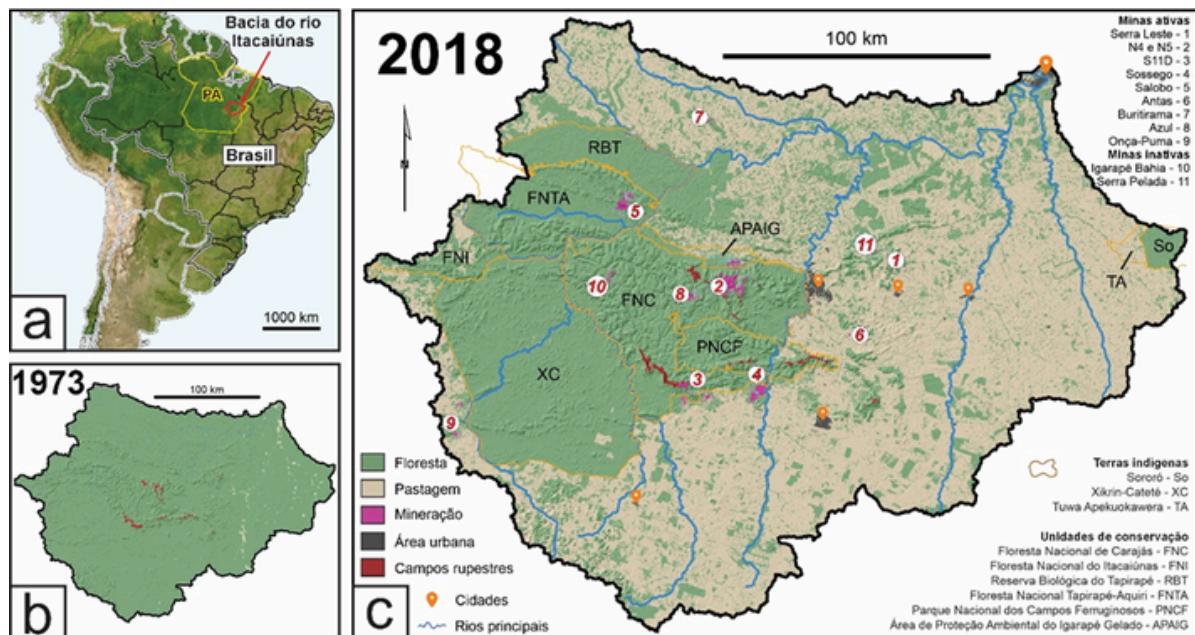
6. Participação política

- Garantir a participação plena e vinculante dos povos indígenas em negociações climáticas.
- Adotar o princípio do Consentimento Livre, Prévio e Informado (CLPI) em todas as políticas e projetos.
- Estabelecer instâncias permanentes de diálogo entre povos originários, governos e organismos internacionais.

A mineração legal na Amazônia: uma avaliação crítica

Roberto Dall'Agnol

Instituto Tecnológico Vale (ITV)



Imagens da Bacia do Rio Itacaiunas (Província Mineral de Carajás). a) Localização da bacia no Pará; b) Região inteiramente coberta pela floresta em 1973; c) Situação em 2018 (quadro semelhante ao atual) com floresta contínua apenas nas unidades de conservação e terras indígenas. Notar que a maioria das minas se situa nas áreas preservadas. Fonte (1), modificado.

Introdução

A Amazônia foi descrita durante muito tempo como uma região despovoada que, dentro de visão militar, devia ser ocupada a qualquer custo para assegurar a integridade territorial do país. Eram subvalorizadas suas populações indígenas e ribeirinhas que nela viviam há séculos. Para outros, a grande preocupação era manter intocadas a floresta e sua biodiversidade. Porém, a existência de contingente populacional expressivo na Amazônia está demonstrada e, para manter a floresta em pé, como preconizado por Bertha Becker, é preciso fornecer alternativas de renda para os que nela vivem. Esta dualidade permanece muito presente. Portanto, qualquer movimento na direção da manutenção da floresta e dos recursos hídricos da região, os quais são inteiramente interdependentes, pois a Amazônia é a soma de rios e floresta, precisa necessariamente assegurar que os amazônidas tenham vida digna e possam exercer atividades que não impliquem destruição deste meio ambiente único e indispensável para o equilíbrio em nosso país e no globo. Neste contexto, é relevante avaliar criticamente o papel desempenhado pela mineração, pois é importante atividade econômica na região e se encontra em expansão. Já de início, é necessário distinguir a mineração legal da mineração sem respaldo legal, geralmente associada com garimpos. A análise que será feita aqui prende-se unicamente a mineração legal efetuada geralmente por grandes empresas. As questões relacionadas com garimpos, assim como a extração de combustíveis fósseis, embora extremamente relevantes, não serão abordadas nesta análise. A questão central é: pode a mineração empresarial contribuir para avanços na economia e, ao mesmo tempo, para preservar a Amazônia?

Estado da Arte

Histórico

O primeiro grande projeto de mineração legal na Amazônia foi da ICOMI (Indústria e Comércio de Minérios S.A.) na Serra do Navio, no Amapá. A mina de manganês esteve ativa entre 1957 e 1998, mas não deixou legado marcante e gerou passivos ambientais (2). Empresas de mineração atuaram na produção de cassiterita, principal minério de estanho, desde a década de 1960 em Rondônia e, nos anos 1980, no Xingu, no Pará, e em Pitinga, no Amazonas. Produziram grande volume de minério e colocaram o Brasil em destaque como produtor de estanho. As diversas minas movimentaram a economia local e geraram empregos, mas não havia cuidados com o meio ambiente e as áreas impactadas não eram restauradas. A bauxita, minério de alumínio, forma grandes depósitos na Amazônia e começou a ser explorada pela Mineração Rio do Norte na região do rio Trombetas na década de 1970. Na fase inicial da extração, o resíduo da separação da bauxita era depositado diretamente no lago Batata, que teve 30% de sua área assoreada e foi, posteriormente, recuperado. Todos estes projetos tinham em comum a ausência de preocupação com a preservação ambiental, que era característica do setor mineral naquele período. Isso marcou sua reputação.

Avanços recentes

Nas duas últimas décadas, apesar de um período de desestruturação dos órgãos ambientais entre 2019 e 2022 e de recentes ameaças de recuos na legislação ambiental, houve avanços significativos na sua aplicação no Brasil. Adicionalmente, como as grandes empresas atuantes no setor mineral na Amazônia geralmente exportam para o mercado internacional, elas são pressionadas por seus clientes, que cobram compromisso com meio ambiente, sociedade e governança (ESG, na sigla em inglês) e com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Isso fez com que tais empresas passassem a incluir a preservação ambiental em suas agendas, formassem equipes especializadas em meio ambiente e aperfeiçoassem seus métodos de atuação para reduzir ou com-

pensar seus impactos. Exemplos neste sentido são: a mineração de bauxita em Juruti, que assimilou as lições aprendidas na Mineração Rio do Norte e desde sua implantação se preocupou com as questões ambientais e com a escuta das comunidades locais; a preservação da floresta em áreas com diversas minas ativas no mosaico de Carajás na bacia do Rio Itacaiúnas (ver resumo gráfico), que contrasta radicalmente com o quase total desmatamento em áreas adjacentes. A colaboração entre a empresa que explora essas minas e os órgãos ambientais (ICMBio/IBAMA) foi fundamental para tornar isso possível. Há melhorias no tocante ao uso racional dos recursos hídricos nos empreendimentos e a preservação da biodiversidade faz parte igualmente das preocupações do setor. Foram feitos mapeamentos geoquímicos sistemáticos em Carajás (3) e gerado um atlas geoquímico (<https://atlasbg.itvds.org>) que permite visualizar o estado ambiental da região.

Panorama atual

Na atualidade, as empresas do setor mineral tendem a interagir mais e melhor com as populações vivendo em torno de seus empreendimentos, pois precisam cada vez mais ser legitimadas pelas comunidades de suas áreas de influência. As empresas visam por vezes apenas obter licença para operar, mas muitas delas incluem em suas estratégias contribuir para o desenvolvimento territorial sustentável. Em outras palavras, estão assumindo um papel mais ativo no crescimento econômico e social, na preservação ambiental e na construção de um legado. Isto não se verifica de modo homogêneo no setor e nem mesmo no interior de uma mesma empresa, mas representa tendência a ser considerada como evolução positiva. Por outro lado, as empresas do setor respeitam, no geral, as normas legais vigentes, e isso as distingue da mineração informal que atua na ilegalidade. Este aspecto é importante porque a Amazônia apresenta hoje um quadro semelhante ao de grandes cidades do país, com facções criminosas controlando territórios e travando sangrentas disputas pelo poder (4,5). Há evidência de que tais grupos estejam em vários locais articulados com os financiadores dos garimpos. Neste contexto, fortalecer as instituições e o respeito às leis vigentes torna-se estratégico. A mineração empresarial pode servir como anteparo para o crescimento da mineração ilegal e, se atuar articuladamente com os órgãos ambientais, contribuir para a preservação ambiental, ao limitar a expansão da grilagem e das pastagens em substituição à floresta.

Desafios

- Fazer com que as empresas de mineração com projetos na Amazônia incluam em suas agendas desenvolvimento territorial sustentável.
- Fortalecer a legalidade na Amazônia e combater a expansão na região de facções criminosas.
- Manter diálogo construtivo entre órgãos ambientais e empresas de modo a assegurar a preservação do meio ambiente, seja diretamente, seja por compensações, e conciliar isso com a manutenção e eventual ampliação de empreendimentos.

Recomendações

- Em 2024, o setor mineral foi responsável por 84% das exportações do estado do Pará, que registrou saldo comercial positivo de US\$ 20,9 bilhões, com exportações de US\$ 22,9 bilhões e importações totalizando US\$ 2,05 bilhões (6). Portanto, o setor mineral do Pará gerou um saldo positivo de US\$ 17,56 bilhões para a balança de pagamentos do país e este quadro tem se mantido ao longo do tempo. Um décimo do saldo anual das exportações do setor poderia ser utilizado para formar um fundo que apoiaria ações em colaboração entre os órgãos ambientais, setor privado e ONG voltadas para preservação. Estes recursos representariam uma compensação parcial pela isenção de ICMS fornecida aos produtos exportados (lei Kandir).

- Estruturar projetos para fortalecer a educação ambiental e disseminar conhecimento sobre a mineração junto à população, priorizando as regiões produtoras e os diferentes níveis de ensino. Difundir nas comunidades as diferenças entre empresas que atuam no setor mineral em consonância com a legislação e a mineração ilegal.
- Estimular a colaboração entre órgãos ambientais e empresas, buscando aperfeiçoar os mecanismos de controle de impactos de empreendimentos do setor mineral e avaliar possibilidades de redução ou compensação quando estes não puderem ser evitados.
- Na região de Carajás, em período recente, houve notável implantação ou expansão de garimpos, até mesmo em áreas onde empresas detêm autorização para pesquisa. Recomenda-se fortalecer a legalidade no setor mineral, reduzindo os espaços para a mineração ilegal e impedindo a presença de garimpos em áreas já destinadas à pesquisa de empresas.
- Apoiar ações que associem geração de renda para as comunidades da região (castanha, açaí, jaborandi, meliponicultura, sistemas agroflorestais, entre outras) com a preservação do meio ambiente.

Referências

1. P. W. M. Souza-Filho, W. R. Nascimento Jr., D. C. Santos, E. J. Weber, R. O. Silva Júnior, J. O. Siqueira, A GEOBIA Approach for Multitemporal Land-Cover and Land-Use Change Analysis in a Tropical Watershed in the Southeastern Amazon. *Remote Sensing* **10**, 1683 (2018).
2. M. A. Monteiro, A ICOMI no Amapá: meio século de exploração mineral. *Novos Cadernos NAEA* **6**, 113-168 (2003).
3. R. Dall'Agnol, G. N. Salomão, P. K. Sahoo, M. S. Silva, L. B. Zeferino, G. S. de Almeida, R. T. Amarante, A. G. Soares Júnior, G. A. de Melo, B. Ferraz. Sustainable Watershed Management in the Main Mining Districts of Brazil: An Environmental Geochemistry Perspective of 10 Years of Studies. *CIM Journal* Submitted (2025).
4. Fórum Brasileiro de Segurança Pública. *Cartografias da violência na Amazônia*. Vol. 3. São Paulo: Fórum Brasileiro de Segurança Pública (2024). Disponível em: <https://publicacoes.forumseguranca.org.br/handle/fbsp/16> (Acessado em 20 de maio de 2025).
5. J. Marcovitch, A. L. Val, "Como salvar vidas e conservar a natureza?" in *Bioeconomia para quem?* J. Marcovitch, A. L. Val, Eds. (Com-Arte, 2024), pp. 325–339.
6. Brasil Mineral. *Mineração responde por 84% das exportações em 2024* (2025). Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/noticias/mineracao-responde-por-84-das-exportacoes-em-2024> (Acessado em 23 de maio de 2025).

Mercúrio na Amazônia: desafios e avanços

Maria Elena Crespo-López

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Letícia dos Santos Sacramento

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Amanda Lopes Araújo

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Caio Gustavo Leal de Nazaré

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Isabela Soares da Silva

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Marcus Augusto de Oliveira

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Gabriela de Paula Fonseca Arrifano

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Carlos Barbosa Alves de Souza

Universidade Federal do Pará (UFPA)



Introdução

A Amazônia ocupa um papel central no controle das mudanças climáticas e a COP30 em Belém coloca o bioma em foco, reforçando a urgência de enfrentar os fatores que ameaçam sua integridade ecológica e a saúde de suas populações. A contaminação por mercúrio na Amazônia conecta diretamente as desigualdades sociais, a degradação ambiental e a instabilidade climática, com consequências globais. A principal atividade antropogênica responsável pela contaminação com mercúrio é a mineração de ouro (1). Atualmente, a Amazônia concentra mais de 90% da área garimpada de todo Brasil (2), com a consequente contribuição no desmatamento desse bioma. Devido ao elevado uso de combustível, estima-se que, em 2022, a atividade garimpeira na região teria liberado centenas de milhares de toneladas de CO₂ equivalente, equiparando-se às emissões da mineração industrial (3,4) e tornando a mineração de ouro na Amazônia uma fonte que não pode ser ignorada quando falamos de mudanças climáticas.

Além disso, o mercúrio emitido é persistente por muitas décadas e viaja por distâncias intercontinentais, chegando até ao Polo Ártico (5). A floresta intacta nos protege parcialmente fixando nas árvores parte do mercúrio atmosférico (6), mas o aumento de temperatura causado pelas mudanças climáticas favorece as queimadas na Amazônia que liberam quantidades massivas do mercúrio armazenado (7). O aumento da temperatura da água facilita a conversão para a forma mais tóxica de mercúrio, o metilmercúrio, que se introduz facilmente na cadeia alimentar (8). As secas cada vez mais intensas na Amazônia também contribuem para aumentar a contaminação da cadeia alimentar, ao limitar a migração dos grandes peixes amazônicos, favorecendo o acúmulo de mercúrio nos peixes mais consumidos pela população e exportados a outras regiões (4,9).

Estado da Arte

Desde a década de 1970, quando a atividade garimpeira se intensificou na região amazônica, a prática da amalgamação com mercúrio consolidou-se como técnica predominante para a extração de ouro (10). Essa escolha, por ser acessível, contribuiu para a rápida disseminação de garimpos, mas também para a liberação contínua de grandes quantidades de mercúrio no ambiente (11,12). Os impactos dessa contaminação tornaram-se evidentes ao longo dos anos: bioacumulação do metilmercúrio na cadeia alimentar, sobretudo em peixes, e graves consequências, especialmente neurológicas e cardiovasculares, nas populações amazônicas (9,13,14).

No intuito de implementar medidas de controle do uso do mercúrio para reduzir as emissões do metal, o Brasil se tornou signatário da Convenção de Minamata em 2013, um acordo global que une diferentes países com o objetivo de reduzir a contaminação causada pelo mercúrio e de proteger a saúde humana contra os efeitos tóxicos desse metal (15). Apesar disso, houve uma expansão significativa da atividade garimpeira, especialmente nos últimos anos, conduzindo a uma nova “corrida do ouro” na Amazônia, que vem sendo pressionada pelo aumento no preço do ouro e suas exportações (16). Essa conjuntura facilita a expansão da mineração de ouro que hoje envolve maquinário pesado, dragas e balsas em larga escala, com elevado consumo de combustível (17). Dados recentes mostram que, desde 2020, a área ocupada pelo garimpo no Brasil superou aquela destinada à mineração industrial, e que 92% de toda a área garimpada no país se encontra localizada na Amazônia (2). O resultado inclui uma degradação ambiental acelerada, um aumento expressivo da exposição humana ao mercúrio e a contribuição significativa para as mudanças climáticas (3,4). As Nações Unidas relatam que, após o Sudeste Asiático, a América do Sul é a segunda região do mundo que mais contribui nas emissões globais de mercúrio (1), com destaque para a Amazônia, que é responsável por 79% de todas as emissões da América do Sul (18).

Infelizmente, a contaminação por mercúrio na Amazônia já é onipresente e dados recentes revelam que é frequente encontrar peixes com alto conteúdo em mercúrio, mesmo nas capitais e em regiões sem influência garimpeira (19). Ao mesmo tempo, grupos de pesquisa vêm documentando na Amazônia os vínculos entre a intoxicação mercurial e sintomas neurológicos e cardiovasculares crônicos (13,14). Assim, é urgente termos dados realistas que permitam políticas públicas eficazes, a começar pela prevenção da exposição e intoxicação humanas por mercúrio. Embora o registro da exposição/contaminação seja compulsório, apenas 668 casos foram notificados em todo o país entre 2007 e 2022, dos quais 15% ocorreram na Amazônia, número incompatível com a magnitude do problema na região (20). Essa invisibilidade estatística compromete a alocação de recursos e a formulação de políticas adequadas, principalmente voltadas para comunidades ribeirinhas, indígenas e quilombolas, que dependem do peixe como principal fonte de proteína (9,12,21). Assim, o risco assume proporções ainda mais preocupantes, evidenciando uma situação de injustiça socioambiental e a necessidade urgente de dados que sustentem políticas públicas efetivas.

Iniciativas como a criação do Instituto Amazônico do Mercúrio (IAMER) e o Projeto de Lei nº 1011/2023 são exemplos de esforços regionais para articular conhecimento científico, ação política e protagonismo amazônida. O IAMER agrega os esforços de grupos de pesquisa de universidades públicas da Região Norte com longa experiência na avaliação ambiental e da saúde humana relacionada com a exposição ao mercúrio. Com o apoio do Ministério da Justiça e Segurança Pública e aproveitando a expertise local já existente, a criação dessa rede de polos de testagem padronizados na maioria dos Estados amazônicos está permitindo pela primeira vez realizar estudos comparativos entre as diferentes regiões e realidades dentro da Amazônia. Nos próximos anos, o IAMER almeja estabelecer como mínimo um polo de testagem padronizado em cada Estado amazônico e consolidar colaborações com os outros países amazônicos de forma a se tornar referência na região.

Também merece destaque a proposição do Projeto de Lei nº 1011/2023, que institui a Política Nacional de Prevenção da Exposição ao Mercúrio, elaborado pelo Laboratório de Farmacologia Molecular da Universidade Federal do Pará e pela Rede Amazônica de Clínicas de Direitos Humanos (22). Esse Projeto de Lei possui três grandes eixos: capacitação dos profissionais atuantes nas regiões afetadas, compilação dos dados gerados por grupos de pesquisa, além daqueles das instituições de saúde, e campanhas permanentes de conscientização sobre o problema.

Esses avanços reforçam a importância de soluções ancoradas em ciência, cooperação regional e valorização dos saberes amazônicos. Enfrentar a crise do mercúrio é condição essencial, não apenas para proteger a saúde e a biodiversidade amazônica, mas também para fortalecer compromissos globais de mitigação climática e de justiça socioambiental.

Recomendações

Destacamos aqui algumas das recomendações que já vimos discutindo com a comunidade científica internacional:

- Valorizar e apoiar articulações regionais, que permitam estratégias em contato com as diferentes realidades amazônicas e com impactos mais duradouros.
- Para reduzir as emissões de mercúrio (17): promover alternativas ao uso do mercúrio e reduzir a desigualdade através de investimentos de longo prazo, acompanhamento e segurança públi-

ca; eliminar conflitos de interesses na cadeia de ouro e adotar mecanismos de rastreabilidade; reforçar a atuação de órgãos ambientais (IBAMA, ICMBio) e proteger florestas intactas que rodeiam regiões de garimpo; promover regulamentações conjuntas entre países amazônicos para a mineração em rios transfronteiriços.

- Para melhorar as políticas públicas (20,23,24): ampliar e aprimorar a infraestrutura local na Amazônia para o monitoramento ambiental e humano; capacitar profissionais amazônidas; adaptar ferramentas (questionários alimentares, testes neurológicos simples, etc.) para a realidade amazônica; internalizar na legislação brasileira os limites e as recomendações internacionalmente reconhecidos e baseados em evidências; desenvolver intervenções alimentares e adjuvantes acessíveis tais como o exercício físico e o consumo de frutos regionais; estabelecer estratégias de comunicação e conscientização baseadas nas Ciências do Comportamento, respeitando a cultura e o conhecimento tradicional.

Finalmente, é essencial ressaltar que apenas com o engajamento da sociedade amazônica (comunidades, populações urbanas, profissionais, pesquisadores, políticos, garimpeiros, entre outros) é que será possível implementar soluções realmente eficazes e com impactos duradouros. Assim, o amazônida deve ser colocado no centro e liderar as iniciativas a serem implementadas para superar os desafios relacionados à presença de mercúrio na Amazônia.

Referências

1. United Nations Environment Programme, *Global Mercury Assessment 2018* (2019). Disponível em: <https://www.unep.org/resources/publication/global-mercury-assessment-2018> (Acessado em 2 de outubro de 2025).
2. MAPBIOMAS, *Destaques do Mapeamento Anual de Mineração no Brasil - 1985 a 2022: o Avanço Garimpeiro na Amazônia* (2023). Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/09/MapBiomias-FACT_Mineracao_21.09.pdf (Acessado em 2 de outubro de 2025).
3. B. Fritz, B. Peregovich, L. S. Tenório, A. C. S. Alves, M. Schmidt, Mercury and CO2 emissions from artisanal gold mining in Brazilian Amazon rainforest. *Nat Sustain* **7**, 15–22 (2024).
4. M. E. Crespo-Lopez, Por que precisamos falar de mercúrio na COP-30? in *Ciência e vozes da Amazônia - COP-30*, pp. 65–70 (Universidade Federal do Pará, 2025).
5. Arctic Council, *Mercury from outside the Arctic is polluting the region* (2021). Disponível em: <https://arctic-council.org/news/mercury-from-outside-the-arctic-is-polluting-the-region/> (Acessado em 2 de outubro de 2025).
6. J. R. Gerson *et al.*, Amazon forests capture high levels of atmospheric mercury pollution from artisanal gold mining. *Nat Commun* **13**, 559 (2022).
7. Y. Shi *et al.*, High-resolution inventory of mercury emissions from biomass burning in tropical continents during 2001–2017. *Sci Total Environ* **653**, 638–648 (2019).
8. A. T. Schartup *et al.*, Climate change and overfishing increase neurotoxicant in marine predators. *Nature* **572**, 648–650 (2019).
9. M. E. Crespo-Lopez *et al.*, Mercury: What can we learn from the Amazon? *Environ Int* **146**, 106223 (2021).
10. M. E. Crespo-Lopez *et al.*, Mercúrio na Amazônia: uma Breve Contextualização do Problema. in *Impactos socioambientais da mineração sobre povos indígenas e comunidades ribeirinhas na Amazônia*, vol. 1 (UEA-Manaus, 2021).

11. L. J. Esdaile, J. M. Chalker, The Mercury Problem in Artisanal and Small-Scale Gold Mining. *Chemistry* **24**, 6905–6916 (2018).
12. M. E. Crespo-Lopez *et al.*, Mineração e mercúrio na Amazônia: principais perguntas e respostas. in *Mineração de Ouro Artesanal e em Pequena Escala na Amazônia: Grandes Impactos Socioambientais e Violações Multidimensionais de Direitos Humanos*, pp. 15–70 (UEA–Manaus, 2023).
13. L. Santos-Sacramento *et al.*, Human neurotoxicity of mercury in the Amazon: A scoping review with insights and critical considerations. *Ecotoxicol Environ Saf* **208**, 111686 (2021).
14. A. Lopes-Araújo *et al.*, Hair mercury is associated with dyslipidemia and cardiovascular risk: An anthropometric, biochemical and genetic cross-sectional study of Amazonian vulnerable populations. *Environ Res* **229**, 115971 (2023).
15. United Nations Environment Programme, *Minamata Convention on Mercury - Brazil*. Disponível em: <https://minamataconvention.org/en/parties/bra> (Acessado em 2 de outubro de 2025).
16. Fórum Brasileiro de Segurança Pública, *A nova corrida do ouro na Amazônia: garimpo ilegal e violência na floresta* (Fórum Brasileiro de Segurança Pública, São Paulo, 2024).
17. M. E. Crespo-Lopez *et al.*, Mercury in the Amazon: The danger of a single story. *Ecotoxicol Environ Saf* **256**, 114895 (2023).
18. S. Galvis, *The Amazon biome in the face of mercury contamination: an overview of mercury trade, science, and policy in the Amazonian countries* (World Wildlife Fund, 2020).
19. P. C. Basta *et al.*, Risk Assessment of Mercury-Contaminated Fish Consumption in the Brazilian Amazon: An Ecological Study. *Toxics* **11**, 800 (2023).
20. M. E. Crespo-Lopez *et al.*, Environmental pollution challenges public health surveillance: the case of mercury exposure and intoxication in Brazil. *Lancet Reg Health Am* **39**, 100880 (2024).
21. C. L. R. Machado *et al.*, Eating in the Amazon: nutritional status of the riverine populations and possible nudge interventions. *Foods* **10**(5), 1015 (2021).
22. Projeto de Lei nº 1011/2023, que institui a Política Nacional de Prevenção da Exposição ao Mercúrio. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/156091> (Acessado em 2 de outubro de 2025).
23. M. E. Crespo-Lopez *et al.*, A Scoping Review of Guidelines for Mercury Limits in Soil, Water, and Air: How Do Brazil's Standards Compare to International and Developed Country Guidelines? *ACS Chem Health Saf* **32**(5), 548–565 (2025).
24. M. Augusto-Oliveira *et al.*, Human methylmercury exposure/intoxication in the Global South: Insights for prevention/mitigation in the Amazonian context. *Sci Total Environ* **1001**, 180537 (2025).

Cidade e floresta na Amazônia: vislumbrando novas urbanidades e outros horizontes

Saint-Clair Cordeiro da Trindade Júnior
Universidade Federal do Pará (UFPA)



Crédito: Mário Oliveira - MTUR

Pensar a relação cidade e floresta no contexto regional amazônico nos remete, de um lado, às políticas públicas territoriais e às ações de mercado que, em tentativas diversas de modernizar o território e de difundir valores da sociedade urbana, pensam e propõem, cada vez mais, padrões de urbanização copiados de outras realidades distantes da região. De outro lado, aposta-se na imagem de cidades paradas no tempo a acompanhar o movimento da natureza; cidades essas que, recorrentemente, povoam um certo imaginário sobre a vida urbana amazônica. Nesse sentido, propomos aqui refletir sobre dois tipos de cidades – as “cidades na floresta” e as “cidades da floresta” – para, em seguida, mobilizando um raciocínio dialético, sugerir um terceiro elemento – as “cidades para a floresta” –, fruto da contradição revelada na natureza urbana daqueles dois tipos anteriormente mencionados. Objetiva-se, com isso, avançar em uma leitura conceitual que nos leve a assimilar as particularidades do processo de urbanização na Amazônia e as potencialidades ecológico-culturais das cidades com vistas ao futuro da região.

Introdução

Normalmente, quando se pensa em Amazônia, uma primeira imagem que se apresenta à mente é a da floresta úmida e latifoliada. Ainda que não seja incorreto mobilizar essa imagem, haja vista que o bioma florestal domina a paisagem regional, há que se pensar em outros elementos que, muitas vezes, escapam a esse olhar primeiro, como a presença de diversas cidades e das relações que elas estabelecem para com a floresta. Na sistematização aqui apresentada, consideraremos uma tríade dialética para entender a relação cidade-região na Amazônia, de forma a situar a importância e o papel que as cidades têm desempenhado na dinâmica de produção do espaço regional em consideração.

As reflexões aqui propostas mencionam, em um primeiro momento, dois tipos de cidades, as “cidades na floresta” e as “cidades da floresta”, para, em seguida, sugerir a possibilidade de conceber, em uma espécie de tríade analítica, as “cidades para a floresta” -, fruto da contradição revelada na natureza dos dois tipos abstratos anteriormente mencionados. Com esse exercício de pensamento, a ideia é avançar na construção de conceitos que nos levem a pensar a Amazônia, e especialmente seu processo de urbanização, com base na relação das cidades com seus respectivos entornos, assim como, nas potencialidades ecológico-culturais delas com vistas a outros horizontes e novas urbanidades dentro do conjunto regional.

Estado da Arte

A relação cidade e floresta já foi considerada por alguns pesquisadores em seus estudos sobre a dinâmica socioespacial regional. Exemplos dessa preocupação são as obras de autores como José Aldemir Oliveira (1), que intitulou seu livro de *Cidades na selva*; John Browder e Brian Godfrey (2), que sistematizaram o tema na obra *Cidades da floresta: urbanização, desenvolvimento e globalização na Amazônia brasileira*, e Edna Castro (3), que organizou uma coletânea denominada de *Cidades na floresta*.

Para a presente sistematização, buscamos acrescentar a essas contribuições três tipos de interação que podem se estabelecer entre a cidade e a floresta. A primeira delas refere-se à noção de “cidades na floresta”, as mais estudadas e citadas nas pesquisas relacionadas à urbanização regional. Elas correspondem aos núcleos urbanos surgidos em decorrência do processo mais recente de ocupação do espaço amazônico, notadamente o de integração territorial, que se intensificou a partir da década de 1960, vinculado à difusão de atividades mais modernas, em grande medida destruidoras da floresta, e voltadas principalmente ao mercado nacional e global,

como as já tão conhecidas cidades das rodovias e as cidades-empresa ou “company towns”, as dos grandes projetos surgidos na segunda metade do século XX. Para essas cidades, o ecossistema florestal nada mais é, em grande medida, mero elemento do entorno das cidades, limitando-se ao seu papel principal de fornecedor de recursos e pouco potencializado nos valores da vida urbana trazidos pelas atividades econômicas que na região se instalaram e que tiveram nessas cidades suas bases logísticas e de dinamismo.

Tais cidades diferem-se das “cidades da floresta”, muito comuns até a primeira metade do século XX, como as tradicionais cidades ribeirinhas. Associadas comumente ao perfil de pequenas cidades, ainda que a elas não se circunscrevam, têm suas dinâmicas ligadas à circulação fluvial e a outros elementos da natureza amazônica. Mesmo sendo produtos da colonização europeia, estabeleceram, em alguns casos, vínculos estreitos com a dinâmica da floresta, contribuindo para preservar seus recursos e também seus valores culturais. Isso justifica, em muito, a interação virtuosa dessas cidades com o entorno imediato e os laços orgânicos estabelecidos com a região e que, de certa forma, mantiveram a floresta e seus valores ancestrais em pé.

Essas duas realidades, entretanto, são apenas tipos extremos que nos levam a perceber as fortes diferenças de tempo e espaço presentes na realidade urbana regional. No intervalo que distancia uma da outra, vários tipos e subtipos podem ser identificados, definindo paisagens e relações híbridas que constituem diferentes formas e conteúdos urbanos a compor o quadro regional. É partindo dessa problematização que faz sentido pensarmos em outras cidades e vidas urbanas possíveis tendo em vista as potencialidades sociais, ecológicas, econômicas e culturais da Amazônia, inclusive aquelas repassadas de experiências ancestrais e deixadas como legados, permanentes em práticas atuais, e que nos remetem a uma Amazônia histórica, geográfica e arqueologicamente pouco conhecida, conforme mostra Neves (4) ao recuperar em seus estudos oito mil anos de história na Amazônia central.

Em outros termos, dada a concepção de “cidades na floresta”, que domina as políticas territoriais e urbanas predatórias na Amazônia, e de “cidades da floresta”, residualmente presentes em experiências cotidianas de vida urbana mais inseridas e imbricadas ao contexto regional, faz sentido considerar a ideia de “cidades para a floresta”. Estas tendem a se contrapor às políticas urbanas homogeneizantes, mas também se distanciam de uma visão essencialista e idealizada que pensa a vida urbana como algo congelado no tempo. Avança-se, assim, na valorização da existência humana nas cidades amazônicas, considerando vivências, culturas, práticas cotidianas e potencialidades de reprodução econômica e sociocultural pautadas notadamente em atributos qualitativos e não apenas em índices quantitativos que medem os padrões de vida em diferentes pontos da superfície do planeta, sem considerar singularidades locais e particularidades regionais; e, especialmente, considerar o atributo da autonomia, conforme chama atenção Marcelo Lopes de Souza (5) ao propor a noção de “desenvolvimento socioespacial”.

A floresta, nesse contexto, não pode ser pensada apenas como um bioma, mas como um espaço social e historicamente produzido, particularizado, pois contém e está contida em um conjunto de relações que se fazem presentes com maior ou menor nitidez em sua paisagem; sendo, por isso, multidimensional, com valor econômico, sem dúvida, mas, igualmente, possuindo outras potencialidades e dimensões – lúdicas, funcionais, simbólico-culturais, entre outras – e que historicamente têm sido assimiladas por muitas de suas cidades. As “cidades para a floresta” tendem a caminhar ao encontro dessa multidimensionalidade apresentada pelo ambiente florestal.

Recomendações

Com base nas premissas acima mencionadas, algumas proposições podem ser elencadas:

- da homogeneidade à geodiversidade: além da diversidade da natureza, a biodiversidade, é imperativo considerar que a sociedade amazônica é também diversa e deve ser concebida na sua pluralidade de grupos, culturas, etnias, temporalidades e espacialidades; e, como fruto dessa sociodiversidade, apresenta-se diversa também na constituição de suas cidades, compondo uma urbanodiversidade que vai além de tipologias e tamanhos dos núcleos, mas inclui manifestações plurais de vida urbana.
- da cidadania à florestania: superando uma visão nostálgica da região e de uma concepção de vida urbana externa a ela, é imprescindível imaginar cidades que estejam assentadas em formas de planejamento e gestão pautadas em um ordenamento cívico-territorial (6), ou seja, aquele que se contrapõe aos ordenamentos territoriais econômico-corporativos e político-clientelistas, e que associa direito à cidade ao direito à floresta; esta, por sua vez, vista em sua integridade natural e cultural.
- de “cidades na floresta” a “cidades para a floresta”: a comporem um ordenamento cívico-territorial regional, as cidades devem se constituir sobretudo como centralidades socioterritoriais, isto é, que potencializem na vida urbana e em seus ordenamentos internos arranjos produtivos locais, ciclos de reprodução e de continuidade da natureza, culturas guardiãs da floresta e que interajam com esta de forma não predatória, tornando-se, assim, cidades voltadas principalmente para as demandas locais/regionais.

Referências

1. J. A. Oliveira, *Cidades na selva* (Valer, Manaus, 2000).
2. J. O. Browder, B. J. Godfrey, *Cidades da floresta: urbanização, desenvolvimento e globalização na Amazônia brasileira* (EDUA, Manaus, 2006).
3. E. Castro, *Cidades na floresta* (AnnaBlume, São Paulo, 2008).
4. E. G. Neves, *Sob o tempo do equinócio: oito mil anos de história na Amazônia central* (Edusp, São Paulo, 2022).
5. M. L. Souza, *Os conceitos fundamentais da pesquisa sócio-espacial* (Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2013).
6. M. Santos, *O espaço do cidadão* (Nobel, São Paulo, 1987).

Biodiversidade e saúde na Amazônia

Wuelton Monteiro

Fundação de Medicina Tropical Doutor Heitor Vieira Dourado

Fernando Val

Fundação de Medicina Tropical Doutor Heitor Vieira Dourado



Imagem gerada por inteligência artificial durante a editoração.

Introdução

A Amazônia é um potencial epicentro para doenças zoonóticas emergentes devido à sua vasta biodiversidade, degradação ambiental e mudanças climáticas. Embora os esforços de vigilância global estejam crescendo, a região ainda carece de uma compreensão integrada de Saúde Única sobre as interações humanas com os ecossistemas. Animais silvestres são reservatórios virais-chave, e o contato com seus fluidos e secreções representa riscos para os humanos. Fatores socioculturais como mobilidade, migração e interação próxima com a natureza podem aumentar a probabilidade de novos patógenos e surtos. A transmissão zoonótica é comum e pode desencadear epidemias graves. No Brasil, o *spillover* (transbordamento) do vírus da febre amarela a partir de primatas não humanos ressurgiu, associado à perda florestal e à perturbação ecológica (1). As mudanças climáticas podem agravar esses eventos ao deslocar áreas de ocorrência das espécies e intensificar a transmissão viral entre espécies (2). Além disso, as transformações impulsionadas pelo homem na Amazônia agora superam os processos naturais por várias ordens de magnitude, corroendo a resiliência dos ecossistemas (3).

Comunidades rurais, ribeirinhas e indígenas enfrentam exposições infecciosas frequentes devido ao contato próximo com ecossistemas, saneamento precário e acesso limitado à saúde. A vigilância nessas áreas remotas permanece mínima, apesar de seu papel crucial na detecção e prevenção de futuras pandemias. No entanto, estratégias viáveis para implementar uma vigilância eficaz nesses contextos ainda são pouco exploradas. Aqui, examinamos os mecanismos que impulsionam a emergência e disseminação de doenças zoonóticas na Amazônia, destacando biodiversidade, dinâmicas socioambientais e lacunas na vigilância, para informar ações mais integradas e preventivas voltadas à segurança da saúde local e global.

Estado da Arte

Cobrindo 49,29% do território brasileiro, a Amazônia é atualmente o maior bioma do mundo, abrangendo nove países (Brasil, Guiana, Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela, Guiana Francesa e Suriname). Estima-se que existam aproximadamente 40 mil espécies de plantas, 300 espécies de mamíferos e 1.300 espécies de aves, habitando 4.196.943 km² de florestas densas e abertas (4). Em geral, o conhecimento sobre a diversidade microbiana proveniente de fontes animais e ambientais na floresta amazônica, bem como os fatores que influenciam essas comunidades microbianas, é pouco compreendido. Podemos hipotetizar que cada uma dessas espécies animais abriga um enorme microbioma, que deve variar de acordo com o sítio anatômico (intestino, cavidade oral, sistema respiratório e pele) e outras características individuais, além da localização geográfica. As comunidades microbianas vivem em simbiose com o hospedeiro, contribuindo para a homeostase e regulando a função imunológica. Ainda menos se sabe, com base nas metodologias de pesquisa atuais, sobre a possibilidade de *spillover*, ou seja, a transmissão de um patógeno de um animal para um humano. O *spillover* não necessariamente causa doença em humanos ou leva à transmissão para outros humanos, mas a emergência de novas zoonoses por esse mecanismo é a hipótese mais plausível. Embora vasta e indiscutivelmente rica, abrigando a maior bacia hidrográfica do mundo e uma imensa reserva de madeira, a Amazônia é, contudo, frágil e sofre com o desmatamento e as mudanças climáticas. É possível que alterações antrópicas no bioma amazônico, combinadas com a estreita relação entre populações humanas e comunidades animais e seus microbiomas, aumentem o risco de *spillover*.

A caça de subsistência e a domesticação de animais silvestres, usados como fontes de proteína alimentar a partir de diversas espécies de mamíferos, aves e répteis, continuam amplamente difun-

didadas e profundamente enraizadas na cultura amazônica (5). Além disso, fluidos como a bile são utilizados na medicina indígena, e tecidos e apêndices como penas, garras e unhas são usados em artesanato e na confecção de amuletos. Algumas espécies animais, como macacos e aves, são criadas como animais de companhia por povos indígenas, potencialmente servindo como ponte entre os ciclos silvestres de patógenos e o ambiente antropogênico das aldeias. Da mesma forma, cães e outros animais domésticos também vivem nesse contexto ambiental, em contato com humanos, animais silvestres e domesticados. Assim, a caça, o abate, o processamento, o armazenamento e as formas de consumo, ou mesmo a convivência com esses animais, colocam os indígenas em contato constante e intenso com material biológico potencialmente infectado, o que pode facilitar o contato com novos patógenos e a emergência de doenças zoonóticas.

Aspectos culturais e de interação social, acesso limitado aos serviços de saúde e as condições ambientais da região amazônica são fatores que contribuem para a maior vulnerabilidade das comunidades indígenas, mais expostas à disseminação de surtos de doenças infecciosas. Além disso, a interação entre ações antrópicas na floresta amazônica, mudanças climáticas, desmatamento, alterações na ecologia de vetores, movimentos migratórios, evolução genética de patógenos e condições sociais e ambientais desfavoráveis pode influenciar o ciclo dos patógenos. Nessa situação de “tempestade perfeita”, a emergência e reemergência de doenças infecciosas em populações especiais, incluindo indígenas, no Brasil e em outras nações amazônicas, é altamente provável. A subnotificação de doenças é atualmente um grande desafio para o Brasil, especialmente em comunidades indígenas mais distantes dos centros urbanos, onde a infraestrutura de saúde é precária. A falta de acesso aos serviços de saúde, combinada à escassez de insumos diagnósticos e à ausência de diálogo cultural que gera desconfiança em relação às autoridades sanitárias, resulta em muitos casos de doenças ignoradas e/ou inadequadamente notificados.

Além disso, comunidades ribeirinhas frequentemente enfrentam desafios para proteger seus territórios, o que pode resultar em deslocamentos forçados, comprometendo a cobertura vacinal e aumentando o risco de doenças preveníveis por vacina, como hepatite viral, sarampo e poliomielite. Sabe-se que, no caso de doenças febris, por exemplo, o tempo entre o início dos sintomas e a busca por atendimento médico é maior entre indígenas do que entre não indígenas, aumentando a probabilidade de disseminação de doenças transmitidas por vetores ou de pessoa para pessoa.

Muitas comunidades indígenas comercializam ou trocam seus artesanatos ou excedentes da agricultura e pecuária. Essas atividades envolvem deslocamentos frequentes de indígenas e ribeirinhos para outras comunidades e centros urbanos, colocando-os em contato com não indígenas. Essa oportunidade permite a compra de alimentos, combustíveis, medicamentos e outros produtos industrializados. Essas viagens, no entanto, possibilitam a disseminação de patógenos para além das aldeias, o que pode levar à emergência de novas doenças. Por outro lado, também se torna possível o fluxo de patógenos das áreas não indígenas para as aldeias.

Recomendações

- Estabelecer observatórios epidemiológicos baseados em sentinelas em diferentes regiões amazônicas para monitorar e interpretar dados humanos, animais, migratórios e ambientais.
- Criar biorrepositórios multi-institucionais de amostras humanas, animais e ambientais para investigar a emergência microbiana por meio de metagenômica e modelos interpretáveis.

- Desenvolver estratégias de vigilância em saúde culturalmente adaptadas para comunidades indígenas e ribeirinhas, integrando dados coletados em tempo real pelas comunidades com indicadores de saúde, clima e meio ambiente.
- Consolidar um repositório de dados de saúde e clima e construir ferramentas preditivas para avaliar o impacto das mudanças climáticas sobre doenças infecciosas em populações vulneráveis.
- Fortalecer a liderança e a autonomia comunitária por meio da capacitação de populações locais para detectar, relatar e responder a eventos de doenças infecciosas relacionados aos meios de vida baseados na floresta.
- Avaliar e aprimorar a resiliência do sistema de saúde amazônico na resposta a surtos zoonóticos.
- Capacitar profissionais de saúde para incorporar a sustentabilidade ambiental na tomada de decisões de saúde pública e na prestação de cuidados regionais.
- Empoderar estudantes de escolas e universidades com conhecimento e ferramentas para enfrentar riscos de doenças emergentes, promovendo equidade nas relações entre clima e saúde por meio de aprendizado interdisciplinar.

Referências

1. R. B. Kaul, M. V. Evans, C. C. Murdock, J. M. Drake, Spatio-temporal spillover risk of yellow fever in Brazil. *Parasit. Vectors* **11**, 1–12 (2018).
2. C. J. Carlson *et al.*, Climate change increases cross-species viral transmission risk. *Nature* **607**, 555–562 (2022).
3. J. S. Albert *et al.*, Human impacts outpace natural processes in the Amazon. *Science* **379** (2023).
4. Amazônia - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/amazonia> (Acessado em 28 de agosto de 2025).
5. A. P. Antunes *et al.*, A conspiracy of silence: Subsistence hunting rights in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy* **84**, 1–11 (2019).

Fortalecendo a saúde única na Amazônia: prioridades e recomendações

Marcus V. G. Lacerda

Fundação de Medicina Tropical Doutor Heitor Vieira Dourado

Pedro F. C. Vasconcelos

Universidade do Estado do Pará (UEPA)



Imagem gerada por inteligência artificial durante a editoração.

Introdução

A Amazônia abriga a maior floresta tropical do planeta e possui biodiversidade incomparável, sistemas de conhecimento indígena ricos e serviços ecológicos essenciais. Também é um *hotspot* para doenças infecciosas emergentes, degradação ambiental e desigualdades sociais. Esses desafios interconectados exigem uma abordagem unificada – Saúde Única (*One Health*) – que reconhece a saúde de humanos, animais e ecossistemas como interdependentes. Nos últimos anos, mudanças climáticas, desmatamento, mineração (em grande parte ilegal), barragens de usinas hidrelétricas e expansão urbana têm agravado as ameaças à saúde na região amazônica, que compreende aproximadamente 55% do território brasileiro. Doenças zoonóticas, contaminação por mercúrio e perturbações nos modos de vida tradicionais evidenciam a necessidade urgente de políticas integradas que promovam resiliência e sustentabilidade.

Com a realização da COP30, em 2025, em Belém do Pará, a Amazônia encontra-se em uma encruzilhada. As decisões tomadas hoje moldarão o futuro de um bioma que influencia a regulação climática global, os ciclos hidrológicos e a diversidade biológica. Este texto apresenta uma visão geral da situação atual da Saúde Única na Amazônia, fornecendo contexto para delegados e partes interessadas de diferentes áreas. Ao abordar o estado da arte, os avanços científicos recentes e as lacunas mais urgentes, buscamos informar discussões e estimular a colaboração multissetorial. Isso não é apenas um imperativo científico – é uma responsabilidade moral para com os milhões que dependem da Amazônia e para com o planeta como um todo.

Estado da Arte

O conceito de Saúde Única na Amazônia evoluiu de esforços fragmentados para uma estrutura cada vez mais coesa. Historicamente, as iniciativas de saúde na região eram compartimentalizadas, com serviços veterinários voltados para doenças do gado, órgãos de saúde pública focados em enfermidades humanas, e monitoramento ambiental restrito a ações acadêmicas ou de fiscalização. Com o tempo, tornou-se evidente que nenhum domínio isolado poderia enfrentar de forma eficaz os desafios sanitários que surgem em uma paisagem tão biologicamente e culturalmente complexa.

Eventos-chave moldaram essa transição. A pandemia de H1N1 em 2009 e os surtos subsequentes de Zika, chikungunya, febre amarela e COVID-19 destacaram como a invasão humana em áreas florestais e a intensificação do uso da terra se correlacionam com a emergência de doenças (1,2,3). De fato, diversos estudos na Amazônia oriental realizados pelo Instituto Evandro Chagas em diferentes áreas e ecossistemas evidenciaram o surgimento de novos arbovírus e vírus zoonóticos na Província Mineral de Carajás, nas barragens das usinas hidrelétricas de Tucuruí e Belo Monte, em Juruti e em rodovias como a Cuiabá-Santarém (4,5,6,7).

Notadamente, o desmatamento, especialmente em zonas de fronteira, facilita o contato humano com patógenos novos e conhecidos por meio da fauna deslocada, aumentando a probabilidade de surtos. Na Amazônia ocidental, a mineração ilegal de ouro levou à contaminação generalizada por mercúrio, afetando populações de peixes e comunidades locais que dependem deles para alimentação, com graves consequências neurológicas e de desenvolvimento (8,9). Essas alterações ecossistêmicas podem seguir dois caminhos (6): (i) se as alterações são desfavoráveis (rápidas e intensas, por exemplo), os patógenos desaparecerão, pois eles, seus vetores e hospedeiros não têm tempo para migrar para outras áreas; (ii) se as alterações são favoráveis, os patógenos (especialmente arbovírus) migram para outras áreas, incluindo ambientes urbanos, adaptam-se rapidamente a novos hospedeiros e vetores, e iniciam a transmissão, que pode ser limitada ou se

espalhar causando surtos limitados e/ou grandes epidemias, como observado com o vírus Oropouche (10,11,12,13,14).

Avanços científicos recentes têm apoiado o desenvolvimento de sistemas de monitoramento mais integrados. Programas de vigilância participativa, por exemplo, agora envolvem comunidades indígenas no relato de mortes incomuns de animais silvestres, mudanças ambientais ou doenças humanas, criando uma ponte em tempo real entre o conhecimento tradicional e os sistemas de saúde pública. Tecnologias de sequenciamento genômico também são cada vez mais utilizadas em laboratórios regionais para identificar novos patógenos em humanos e animais. Dados de satélite e modelos baseados em inteligência artificial (IA) ajudam a prever áreas de alto risco para *spillover* (transbordamento) zoonótico, considerando fatores como desmatamento, precipitação e movimentação de espécies.

Apesar desses avanços, persistem desafios que precisam ser enfrentados. Primeiro, o acesso a serviços de saúde em áreas remotas é limitado. Muitas comunidades carecem de ferramentas diagnósticas básicas ou suprimentos médicos, e restrições logísticas frequentemente atrasam as respostas. Segundo, a fragmentação jurisdicional dificulta ações coordenadas, já que agências de saúde, agricultura e meio ambiente normalmente operam sob mandatos, orçamentos e sistemas de dados separados. Terceiro, ainda há investimento insuficiente em educação e pesquisa transdisciplinar que integrem ciências naturais, sociais e da saúde. Por fim, desigualdades sistêmicas – enraizadas em legados coloniais e sustentadas por infraestrutura precária – expõem as populações mais vulneráveis aos maiores riscos.

Outra complexidade reside no equilíbrio entre metas de conservação e pressões de desenvolvimento. Projetos de infraestrutura, como rodovias e barragens, embora prometam crescimento econômico, podem causar perturbações ecológicas irreversíveis e deslocamentos sociais. Essas iniciativas resultam em alterações profundas no ecossistema amazônico, geralmente acompanhadas pela emergência ou reemergência de arbovírus, vírus zoonóticos, além de malária e outras doenças parasitárias e microbianas. Enfrentar essas tensões exige uma abordagem inclusiva de Saúde Única, que integre vozes indígenas, expertise científica e mecanismos de governança participativa. A Amazônia não é apenas um reservatório de biodiversidade, mas também uma fonte de resiliência e inovação, e suas comunidades são parceiras essenciais na promoção da saúde e na gestão ambiental.

Recomendações

- Integrar sistemas de vigilância em saúde, meio ambiente e agricultura: estabelecer plataformas de dados interoperáveis e indicadores harmonizados que permitam o compartilhamento em tempo real entre setores.
- Investir em monitoramento comunitário e sistemas de alerta precoce: apoiar programas de vigilância participativa liderados por comunidades locais e indígenas, garantindo mecanismos de feedback com as autoridades de saúde pública.
- Priorizar educação e capacitação transdisciplinar: desenvolver centros regionais de treinamento focados em competências de Saúde Única, envolvendo universidades, institutos técnicos e agentes de saúde locais.
- Apoiar o acesso equitativo aos serviços de saúde: melhorar redes logísticas e serviços móveis de

saúde para alcançar áreas remotas, especialmente durante surtos e emergências relacionadas ao clima.

- Facilitar a coerência de políticas entre jurisdições: promover marcos legais e alocações orçamentárias que alinhem agendas de saúde pública, proteção ambiental e segurança alimentar para garantir governança eficaz.
- Fortalecer a descoberta de patógenos e a vigilância genômica: expandir redes regionais de laboratórios com capacidade para sequenciamento de nova geração e compartilhamento de dados em tempo real com parceiros nacionais e internacionais.
- Incorporar conhecimento tradicional ao planejamento de políticas: reconhecer formalmente saberes indígenas e locais em avaliações ambientais e planejamento de saúde.
- Promover uso sustentável da terra e prevenção de doenças: elaborar políticas que reduzam o desmatamento e a fragmentação de habitats como parte das estratégias de prevenção de epidemias.
- Garantir a participação das populações amazônicas na tomada de decisão: engajar líderes locais nas deliberações e apoiar mecanismos para contribuição contínua nos diálogos globais sobre saúde ambiental.
- Financiar pesquisas de longo prazo e intersetoriais na Amazônia: alocar recursos para consórcios que integrem ecologia, epidemiologia, ciências sociais e análise de políticas.

Referências

1. N. Faria Jr., R. S. S. Azevedo, M. U. G. Kraemer, *et al.*, Zika virus in the Americas: Early epidemiological and genetic findings. *Science* **352**(6283), 345–349 (2016).
2. M. R. Nunes, N. R. Faria, J. M. de Vasconcelos, *et al.*, Emergence and potential spread of Chikungunya virus in Brazil. *BMC Med* **13**, 102 (2015).
3. T. P. Monath, P. F. C. Vasconcelos, Yellow fever. *J Clin Virol* **64**, 160–173 (2015).
4. A. P. A. Travassos da Rosa, J. F. S. T. Travassos da Rosa, J. P. Hervé, P. F. C. Vasconcelos, N. Dégallier, S. G. Rodrigues, Arboviruses in Serra Norte, Carajás Region, Pará, Brazil. *Ciência e Cultura (J Brazilian Assoc Advanc Sci)* **44**(2/3), 158–161 (1992).
5. E. S. Travassos da Rosa, D. B. A. Medeiros, M. R. T. Nunes, *et al.*, Molecular epidemiology of the Hantavirus Laguna Negra in Mato Grosso state, Brazil. *Emerg Infect Dis* **18**(6), 982–985 (2012).
6. P. F. C. Vasconcelos, A. P. A. Travassos da Rosa, S. G. Rodrigues, *et al.*, Inadequate management of natural ecosystem in the Brazilian Amazon region results in the emergence and reemergence of arboviruses. *Cad Saúde Pública* **17**(Suppl.), 155–164 (2001).
7. D. B. A. Medeiros, E. S. Travassos da Rosa, A. A. R. Marques, *et al.*, Circulation of hantaviruses in the influence area of the Cuiabá-Santarém (BR-163) Highway. *Mem Inst Oswaldo Cruz* **105**(5), 665–671 (2010).
8. M. C. Santos, M. V. G. Lacerda, S. M. Benedetti, *et al.*, Report of the first cases of human hantavirus infection in the western Brazilian Amazon. *Emerg Infect Dis* **12**(7), 1165–1167 (2006).
9. M. S. Nunes, R. S. Malafrente, B. A. Luz, *et al.*, The Acre Project: the epidemiology of malaria and arthropod-borne virus infections in a rural Amazonian population. *Cad Saúde Pública* **22**(5), 109–118 (2006).

10. F. P. Pinheiro, A. P. Travassos da Rosa, J. F. Travassos da Rosa, *et al.*, Oropouche virus. I. A review of clinical, epidemiological, and ecological findings. *Am J Trop Med Hyg* **30**(1), 149–160 (1981).
11. H. B. Vasconcelos, R. S. S. Azevedo, M. R. T. Nunes, *et al.*, Oropouche fever epidemics in Northern Brazil: epidemiology and molecular characterization of isolates. *J Clin Virol* **44**, 129–133 (2012).
12. P. F. C. Vasconcelos, L. C. Martins, J. O. Chiang, Oropouche fever. in Feigin & Cotrim. *Textbook of Pediatric Infectious Disease*, Chapter 204 (Elsevier, London, 2025).
13. T. Gräf, E. Delatorre, C. do Nascimento Ferreira, Expansion of Oropouche virus in non-endemic Brazilian regions: analysis of genomic characterisation and ecological drivers. *Lancet Infect Dis* **25**(4), 379–389 (2024).
14. F. G. Naveca, T. A. P. Almeida, V. Souza, *et al.*, Human outbreaks of a novel reassortant Oropouche virus in the Brazilian Amazon region. *Nat Med* **30**(12), 3509–3521 (2024).

Amazônia 2030: a sustentabilidade única como roteiro para um futuro global

Anderson Stevens Leonidas Gomes
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)



Introdução

A Amazônia é um território-chave para o futuro do planeta. Com vasta biodiversidade, riqueza cultural e um papel central no equilíbrio climático, a região também enfrenta desafios históricos: degradação ambiental, desigualdade social e pressões econômicas predatórias. Nesse cenário, o conceito de Sustentabilidade Única (*One Sustainability*) emerge como uma resposta integradora a esses desafios, inspirando-se em paradigmas como a Saúde Única (*One Health*) (1), ou Uma Saúde, como adotado pelo Ministério da Saúde, e propondo uma abordagem sinérgica, territorializada e transdisciplinar.

A Sustentabilidade Única é definida (2) como *um fundamento integrativo e transdisciplinar que articula simultaneamente os domínios da saúde ambiental, da equidade social e da prosperidade econômica, com o objetivo de promover a transformação sistêmica de territórios e políticas públicas. Trata-se de um paradigma de ação, claro e acessível, capaz de engajar desde formuladores de políticas e cientistas até comunidades locais e instituições multilaterais.*

Este artigo analisa o potencial dessa abordagem para a Amazônia, conectando-a a tecnologias emergentes, à justiça socioambiental e à diplomacia científica.

Estado da Arte

Historicamente, políticas para a Amazônia foram moldadas por visões desenvolvimentistas extrativistas, invisibilizando comunidades locais e ameaçando a floresta. Avanços recentes, como o reconhecimento de saberes indígenas, políticas de bioeconomia e acordos climáticos, sinalizam uma virada paradigmática. Porém, ainda há entraves significativos:

- Desmatamento e mudanças climáticas.
- Vulnerabilidades sociais e insegurança alimentar.
- Déficit de infraestrutura científica e tecnológica.
- Governança multiescalar fragmentada.

Neste cenário, a Sustentabilidade Única desponta como um marco epistemológico e operacional, promovendo ações interdependentes com base em três pilares:

Saúde Ambiental

Monitoramento e restauração dos ecossistemas, controle de zoonoses, redução de poluentes e fortalecimento da vigilância ambiental comunitária.

Equidade Social

Reconhecimento e valorização dos direitos de povos originários e comunidades tradicionais, acesso a serviços básicos, demarcação territorial e educação intercultural.

Prosperidade Econômica

Promoção de cadeias produtivas sustentáveis, apoio à bioeconomia, tecnologias limpas, empreendedorismo de base local e inovação social.

A Amazônia atravessa um momento crítico. As taxas de desmatamento, embora variáveis, permanecem elevadas, impulsionadas por atividades ilegais, interesses extrativistas e a falta de alternativas econômicas sustentáveis para as populações locais. Apesar dos avanços em áreas

como monitoramento remoto por satélites e mobilização social para a conservação, a fragmentação de políticas e a ausência de abordagens integradas limitam a eficácia das ações.

Além disso, as populações tradicionais e indígenas continuam a sofrer pressões que ameaçam seus modos de vida, enquanto novas ameaças, como as mudanças climáticas e a degradação do solo, exigem respostas urgentes e inovadoras (3).

A COP 30, sediada em Belém, é uma vitrine para o Brasil demonstrar que é possível aliar biodiversidade, justiça e inovação. O paradigma da Sustentabilidade Única pode ser lançado como documento político internacional, construído com participação social, validado por ciência robusta e respaldado por compromissos multilaterais.

Recomendações

1. Institucionalizar a Sustentabilidade Única como diretriz transversal das políticas públicas para a Amazônia.

- Apresentar a Sustentabilidade Única, como contribuição brasileira à governança climática planetária.

2. Integração de Tecnologias Emergentes

- Implantar redes de dados quânticos e sensores remotos para monitorar a saúde ambiental em tempo real.
- Expandir o uso de drones ambientais e laboratórios móveis para avaliação in situ de impactos ambientais.
- Monitoramento dos biomas brasileiros

3. Fortalecimento de Comunidades Tradicionais

- Promover programas de capacitação em tecnologias sustentáveis para populações locais.
- Apoiar cadeias produtivas baseadas na biodiversidade, com enfoque em valorização cultural e mercado justo.
- Criar uma Plataforma Amazônica de Inovação Integrada, reunindo Novas Aprendizagens Metodológicas (NAMs), Tecnologias Quânticas (TQs), inteligência territorial e saberes tradicionais.

4. Diplomacia Científica

- Estimular acordos internacionais que reconheçam a Amazônia como patrimônio global sob gestão soberana.
- Consolidar a diplomacia científica da Amazônia, com foco em cooperação internacional, financiamento climático e inclusão de cientistas locais em fóruns globais.

5. Desenvolvimento de Políticas Integradas

- Criar instrumentos jurídicos que articulem simultaneamente objetivos de saúde ambiental, equidade social e prosperidade econômica.
- Fomentar uma governança multinível, conectando esferas locais, nacionais e internacionais.
- Criar uma Plataforma Amazônica de Inovação Integrada, reunindo NAMs, TQs, inteligência territorial e saberes tradicionais.
- Fomentar centros de pesquisa transdisciplinares, com governança compartilhada entre academia, sociedade civil e povos originários.

Perspectivas

A garantia da sustentabilidade amazônica é urgente, face aos impactos negativos em curso. E precisa ser integrada. A Sustentabilidade Única como paradigma de ação, com um fundamento integrativo e transdisciplinar que articula simultaneamente os domínios da saúde ambiental, da equidade social e da prosperidade econômica, tem todas as condições de promover a transformação sistêmica de territórios, com base em políticas públicas. As políticas devem ser de Estado, para as próximas décadas, mas precisam começar já!

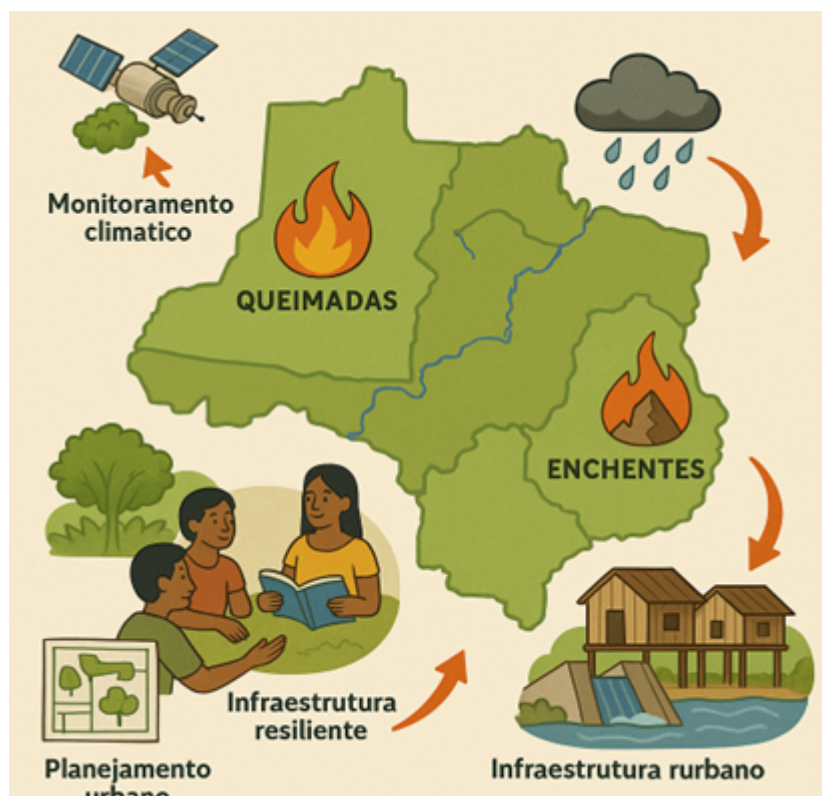
Referências

1. H. Lerner, C. Berg, A comparison of three holistic approaches to health: One Health, EcoHealth, and Planetary Health. *Front Vet Sci* **4**:163 (2017).
2. A. S. L. Gomes, One Sustainability: A paradigm for action toward integrated governance and inclusive innovation. Under submission to *Nat Sustain* (section Perspectives) (2025).
3. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), *CTI para Amazônia*, (documentos para cada estado amazônico brasileiro) (2025).

Gestão de risco e gestão de desastres: vulnerabilidades e capacidades de resposta nos municípios da região amazônica

Oswaldo Luiz Leal de Moraes

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)



Introdução

Conforme o Atlas Brasileiro de Desastres, a média de desastres reconhecidos pela SEDEC-MIDR na região da Amazônia Legal passou de 88 para mais de 203, por ano, quando comparamos as duas últimas décadas. Na mesma direção, a média anual de pessoas afetadas passou de 131 mil para 453 mil. Os riscos naturais na região amazônica, representados por eventos de tempo e clima mais intensos e frequentes, associados com as ações antrópicas, como o rápido crescimento populacional, ao aumento de práticas inadequadas de uso do solo e à degradação da qualidade das águas, estão transformando a realidade na região. Contudo, a magnitude dos impactos dos desastres na região não são apenas resultado da amplificação dos riscos naturais e da degradação ambiental, mas também da limitada capacidade de preparação e resposta para enfrentamento dessa nova realidade. A avaliação das suscetibilidades presentes na região, em escalas espaciais e temporais detalhadas, permite elucidar os indicadores que agravam os graus de vulnerabilidades e revelam o perfil do risco. Este processo, que pode auxiliar os tomadores de decisão no planejamento de estratégias direcionadas e políticas públicas para minimizar e mitigar os impactos dos desastres, não pode ser feito sem o apoio da Ciência. Este é o elo entre Gestão de Risco e Gestão de Desastre.

Estado da Arte

Até o final do século XX, o tema desastre estava associado com impactos que motivavam ações humanitárias e auxílio a sobreviventes e desalojados. A última década daquele século foi designada, pela ONU, como a Década Internacional para Redução de Desastres Naturais. Seguiu-se, àquela resolução, o Marco de Yokohama de 1994, que traçou diretrizes para a redução e mitigação dos desastres, e o Marco de Yoko de 2005, com o objetivo de aumentar a resiliência das nações aos desastres e reduzir substancialmente as perdas de vidas, os prejuízos econômicos e os danos ambientais. A mudança do paradigma de reduzir desastres para reduzir o risco de desastres veio no Marco de Sendai (1). Associada a estes marcos internacionais nasceu a Ciência dos Desastres, e o florescimento desta trouxe junto a terminologia adotada. É neste contexto que faz sentido entender que gestão de risco trata de probabilidades e ações para reduzir os indicadores que podem desencadear um evento futuro (2), enquanto gestão de desastre trata de ações para atenuar os efeitos de um evento já ocorrido.

Nestas duas pontas, gestão do risco e gestão do desastre, há exemplos muito claros de como a ciência pode subsidiar a elaboração de políticas para diminuir os riscos e atenuar os impactos (3). E nada mais ilustrativo que mostrar tais resultados para a região amazônica. Nos anos de 2018 e 2022, o CEMADEN, unidade de pesquisa do MCTI, produziu dois relatórios que detalham indicadores essenciais para a Redução do Risco e para o Gerenciamento do Desastre. Em parceria com o IBGE (4), o Centro produziu um relatório que caracterizou o perfil das populações vivendo em cada uma das áreas de risco nos 872 municípios monitorados. Conforme dados censitários, a população em áreas de risco, nestes municípios chegava a 8.270.127 habitantes, que viviam em 2.471.349 domicílios particulares. Dos municípios analisados, 107 estavam na Região Norte e, em suas áreas de risco, havia 340.204 moradores. Destes, 13% eram indivíduos menores de 5 anos e 6% eram indivíduos maiores de 60 anos. Por sua vez, 70,7% da população morava em domicílios sem acesso à rede de esgoto ou fossa séptica. Este era o grau da vulnerabilidade social em 14% dos municípios da Amazônia Legal. Estes 14% representam, talvez, uma parte privilegiada da realidade da região. Outra informação relevante, também produzida pelo CEMADEN, mas agora em parceria com a SEDEC (5), foi a caracterização da capacidade de resposta a desastre existentes em, aproximadamente, 2 mil municípios no Brasil. Análise das informações prestadas por agentes muni-

cipais de defesas civis de 104 municípios dos estados do Norte, nos dão um quadro da capacidade de resposta a desastre instalada na região: 54% das equipes têm, no máximo, dois integrantes, 87% não possuem telefone fixo exclusivo e 47% se sentem pouco capacitadas para fiscalizar áreas de risco. Em síntese, a ciência produziu informações relevantes para pautar as políticas de redução de risco e de gerenciamento dos desastres.

Mas quais desastres ocorrem rotineiramente na região amazônica? A resposta a essa pergunta é fundamental para o estabelecimento de redes observacionais. Segundo o Atlas Digital de Desastres no Brasil (6), entre os anos 2003 e 2024, 3011 municípios tiveram o reconhecimento, pelo governo federal, dos seus decretos de Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública. Deste total, 56% foram desastres hidrológicos (inundações, alagamentos e enxurradas) e 37% foram desastres climatológicos (secas e incêndios florestais). Em outras palavras: quase a totalidade dos desastres que ocorrem nos municípios da região amazônica estão relacionados a eventos extremos de tempo ou de clima.

O estabelecimento de políticas de redução de riscos e gerenciamento dos desastres não pode desprezar que a imensa maioria dos municípios amazônicos estão desconectados dos centros de poder que deliberam sobre recursos e tomada de decisão. Isto influencia as ações de planejamento para responder a enchentes, secas e seus impactos. Um grande número de municípios está localizado a milhares de quilômetros das capitais e depende diretamente dos principais sistemas fluviais para atender às necessidades essenciais, comprometendo a agilidade nas respostas durante eventos extremos (7).

Finalmente, não é demais recordar que os impactos das mudanças climáticas estão acontecendo mais rápido do que o previsto, e os mecanismos de respostas existentes são altamente ineficientes, não integrados e elaborados sem tempestividade, destacando a necessidade urgente de mecanismos legais e integrados para evitar perdas e danos.

Recomendações

- Processos de adaptação e mitigação devem ser considerados urgentes, especialmente nos municípios com maior vulnerabilidade social e econômica.
- Alterar a visão dominante de que os desastres são considerados de origem natural, onde a sociedade tem pouca interferência em suas causas ou na mitigação de seus impactos. Isto implicará em colocar, nas políticas públicas, ações no desenvolvimento sustentável. Tomadores de decisão, por exemplo, veem as mudanças climáticas como um potencial gerador de oportunidades, mas não como um impulsionador de eventos extremos.
- Elaborar protocolos para coordenar ações das instituições de defesa civil (municipal, estadual e federal) com as ações das ICTs e/ou setores acadêmicos. Isso significa incorporar, em todos os eixos do sistema de alertas, os conhecimentos gerados pela ciência que vão além do monitoramento das ameaças e a previsão do evento extremo, mas também a relevância das ciências humanas e sociais para a compreensão e percepção do risco nas comunidades vulneráveis.
- Fortalecer os orçamentos estaduais e municipais para programas e ações estruturantes. A dependência do financiamento do governo federal cria vulnerabilidade na gestão de riscos de desastres, podendo levar à ameaça de descontinuidade temporal, à aceitação de estratégias e

atividades nacionais ou internacionais pouco adaptadas às realidades locais.

- Sistematizar e qualificar Informações de ameaças, vulnerabilidades e exposição em bancos de dados públicos e interoperáveis, desenvolvidos com a participação de setores acadêmicos voltados à gestão de risco.
- Capacitar, com apoio de setores acadêmicos, agentes de defesa civil para ações que não aquelas da atuação pós desastre, mas, principalmente, na preparação e recuperação.
- Estabelecer, na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, para a região amazônica, algo semelhante ao artigo do Acordo de Paris que estabelece os mecanismos pelos quais os países do Anexo I devem apoiar o financiamento da adaptação para construir resiliência e reduzir perdas e danos às populações afetadas no Sul Global.

Referências

1. O. L. L. Moraes, Some evidence on the reduction of the disasters impact due to natural hazards in the Americas and the Caribbean after the 1990s. *Int J Disaster Risk Reduct* **75**, 102984 (2022).
2. O. L. L. Moraes, R. S. Lacerda, The prevalence of objectivist risk in official DRR terminology and a consistent mathematical equation to define it. *Int J Disaster Risk Reduct* **104**, 104396 (2024).
3. M. M. N. de Andrade, C. F. Szlafsztein, Vulnerability assessment including tangible and intangible components in the index composition: An Amazon case study of flooding and flash flooding. *Sci Total Environ* **630**, 903–912 (2018).
4. M. C. Assis Dias, S. Silvia, S. M. Saito, R. C. S. Alvalá, *et al.*, Estimation of exposed population to landslides and floods risk areas in Brazil, on an intra-urban scale. *Int J Disaster Risk Reduct* **31**, 449–459 (2018).
5. V. Marchezini, S. M. Saito, L. R. Londe, F. D. L. Damacena, Implementation challenges of disaster risk management policies: The organizational capacities of municipal civil defense units. *Int J Disaster Risk Reduct* **119**, 105291 (2025).
6. BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil, *Atlas Digital de Desastres no Brasil* (MIDR, Brasília, 2025).
7. E. B. de Souza, B. C. S. Silva, E. M. F. Serra, M. J. B. Ruiz, A. C. Cunha, P. J. P. O. Souza, L. P. Pezzi, E. J. P. da Rocha, A. M. L. Sousa, J. d. A. Silva Jr., *et al.*, Small municipalities in the Amazon under the risk of future climate change. *Climate* **12**, 95 (2024).

O paradoxo brasileiro entre ciência oceânica e exploração de recursos naturais: em busca da estrutura e função do Grande Recife Amazônico

Carlos E. de Rezende

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)

Michel M. Mahiques

Universidade de São Paulo (USP)

Eduardo Siegle

Universidade de São Paulo (USP)

Claudia Omachi

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Nils E. Asp

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Ricardo Kruger

Universidade de Brasília (UnB)

Cristiane Thompson

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Fabiano Thompson

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

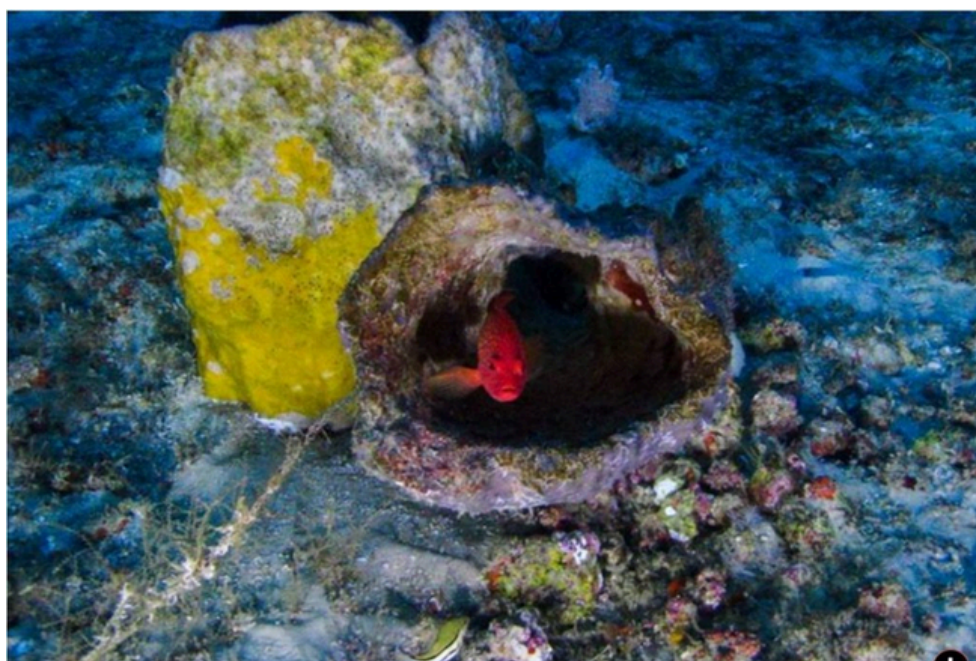


Imagem obtida a bordo do Navio Esperanza (Greenpeace) em janeiro de 2017. Imagem mostra peixes, esponjas e rodólitos vivos.

Introdução

O Brasil possui investimento ínfimo em Ciências do Mar e carece de uma atuação robusta nesta área estratégica do conhecimento, pois parte desta iniciativa demanda condições adequadas para pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação marinha. A escassez de navios oceanográficos civis e de boias oceanográficas de monitoramento limita severamente a capacidade nacional de pesquisa na Plataforma e Margem Continental assim como em águas profundas, resultando em uma Oceanografia predominantemente costeira. Essa limitação é particularmente preocupante diante da dimensão da Zona Econômica Exclusiva brasileira (5,7 milhões de km²), que tem sido denominada de Amazônia Azul, cuja maior parte encontra-se em regiões oceânicas ainda pouco conhecidas. Enquanto isso, o país tem intensificado atividades de exploração de petróleo em áreas sensíveis, muitas vezes sem o devido conhecimento sobre a geodiversidade e biodiversidade e a dinâmica ecológica que sustentam esses ambientes.

O contraste entre a exploração econômica intensiva e o reduzido investimento em ciência, tecnologia e inovação, com grande assimetria regional, revela um desequilíbrio estrutural que compromete, tanto a soberania científica, quanto a capacidade de uso e gestão sustentável dos recursos marinhos. Esse cenário torna-se ainda mais relevante no atual debate sobre a Margem Equatorial brasileira, considerada uma nova fronteira exploratória de petróleo e incluindo uma região de elevada importância ecológica e pesqueira, sob influência do rio Amazonas. A ausência de levantamentos oceanográficos abrangentes e de séries históricas de dados marinhos gera incertezas, dificultando a avaliação dos riscos e impactos ambientais associados à exploração de hidrocarbonetos. Portanto, investir em uma infraestrutura científica sólida, com navios oceanográficos bem equipados, laboratórios de vanguarda, programas de monitoramento de longo prazo e formação de recursos humanos especializados, não é apenas uma necessidade acadêmica; trata-se de uma questão estratégica para assegurar a soberania nacional, proteger a biodiversidade marinha e equilibrar o desenvolvimento socioeconômico com a conservação dos ecossistemas oceânicos.

Estado da Arte

A Amazônia Azul abriga uma ampla diversidade de biomas e ecossistemas, incluindo ambientes profundos, sistemas de exsudação de fluídos, recifes, ilhas oceânicas, bancos de macroalgas e de rodólitos, e manguezais. Nos últimos anos, uma das descobertas mais relevantes no âmbito da ciência oceânica brasileira foi a confirmação da existência de um extenso sistema recifal na região marinha sob influência do rio Amazonas, o Grande Sistema Recifal Amazônico (GARS), com área potencial estimada em pelo menos 57 mil km² (1,2). Embora a presença de formações recifais vivas na plataforma amazônica já fosse reconhecida desde a década de 1970, em estudos pioneiros, somente recentemente esse sistema passou a ser caracterizado como um novo bioma (3,4,5,6).

O GARS apresenta alta biodiversidade, mas não corresponde a um recife coralíneo típico, ainda que os corais também estejam presentes. Essa particularidade não reduz sua relevância ecológica e biogeográfica, pois sua complexidade estrutural sustenta uma grande variedade de organismos marinhos, incluindo algas calcáreas, esponjas, briozoários e corais (2,7,8). O GARS é um recife mesofótico, ocorrendo em áreas mais profundas (até 220 metros), com reduzida disponibilidade de luz (1,9). Estudos recentes demonstram que a variação na disponibilidade de luz no leito marinho modula microbiomas de rodólitos ao longo do GARS (10,11,12). O GARS também é conhecido pela abundância de pescado (13,14,15). Estudos iniciais indicam que o sistema pode atuar como corredor ecológico entre a Margem Continental brasileira e o Caribe, embora sua contribuição para

os fluxos genéticos e para a resiliência dos ecossistemas ainda seja pouco compreendida. Diversas espécies de peixes e invertebrados marinhos apresentam parte de seus ciclos de vida (juvenil) em áreas costeiras do GARS e nos manguezais, gerando um fluxo gênico dentro do megabioma Amazônico. Resultados de estudo recentes também demonstraram que as esponjas do GARS apresentam assinaturas isotópica e diversidade genética semelhante à pluma do rio Amazonas, sugerindo que a floresta Amazônica fornece energia e matéria para estes organismos filtradores (16,17,18,19,20,21,22). Um dos principais desafios para a compreensão de sua gênese e evolução geológica é a ausência de perfurações científicas, fundamentais para investigar processos de formação e manutenção do recife ao longo do tempo e do espaço. Entretanto, aspectos como sua composição taxonômica, a funcionalidade ecológica e o grau de endemismo permanecem amplamente inexplorados.

O Grande Sistema Recifal Amazônico está integrado a um contínuo megabioma, que compreende a maior floresta tropical do mundo (a Floresta Amazônica), um dos mais extensos sistemas de manguezal do planeta (do Amapá ao Maranhão) e o sistema recifal vivo. A relação entre floresta e o sistema recifal aponta que a energia e a matéria exportadas pela Bacia Amazônica alimentam processos fundamentais no sistema recifal mesofótico. Em termos de evolução, Mahiques *et al.* (23) apresentaram evidências inequívocas da existência de formações recifais recentes, obtidas por meio de datação geocronológica de carbonatos. Tais resultados sustentam que o GARS não se enquadra no conceito de “recife afogado”, recentemente defendido (24), pois sua formação e evolução não foram interrompidas. Pelo contrário, todos os setores do GARS (norte, central e sul) apresentam processos de acreção de carbonatos. Contudo, o tema ainda gera debate e, independentemente dessas controvérsias, é inegável que a formação recifal mesofótica amazônica, com área comparável à de alguns estados brasileiros, representa uma fronteira científica, tecnológica e de inovação estratégica e desafiadora. Apesar do reduzido investimento em Ciência Oceânica no país, pesquisadores brasileiros vêm revelando informações valiosas sobre sua estrutura e funcionamento, abrindo caminho para novas perspectivas em bioeconomia que conciliem conservação marinha e uso sustentável dos recursos naturais (25).

Nesse contexto, merece destaque o baixo nível de financiamento destinado às ciências marinhas no Brasil (26). De acordo com o Relatório Global de Ciência Oceânica (IOC-UNESCO, 2020), a média mundial de investimentos nacionais em pesquisa oceânica é de 1,7%. No Brasil, esse índice é de apenas 0,03%, evidenciando o descompasso entre os vultosos recursos destinados à exploração petrolífera e a escassez de investimentos voltados à compreensão e uso sustentável dos ambientes marinhos. A situação é particularmente crítica na Margem Equatorial Brasileira, onde, segundo Francini-Filho *et al.* (1), menos de 5% da área foi estudada, resultando em profundo desconhecimento sobre a biodiversidade da plataforma e da margem continental (27). A importância do GARS é reforçada pela estimativa que este sistema teria mais de 4 mil km de comprimento e, embora heterogêneo, seria um dos maiores sistemas recifais do planeta (27,28,29). Assim, o Grande Recife Amazônico se configura como um sistema-chave para o avanço do conhecimento científico, para a formulação de estratégias de gestão integrada e para o fortalecimento da soberania brasileira sobre a Amazônia Azul.

Recomendações

- O Brasil poderá assumir riscos significativos para sua biodiversidade marinha e para entorno internacional em caso de derrame de petróleo na região do GARS. O óleo derramado poderia tocar a linha de costa de outros países da América Latina e do Caribe. A justificativa de que a ex-

de petróleo na plataforma amazônica seria um passo necessário rumo à transição energética é, no mínimo, controversa. Diversos relatórios climáticos apontam que a transição depende, sobretudo, da substituição gradual dos combustíveis fósseis por fontes renováveis e sustentáveis. Assim, avançar na exploração de petróleo pode comprometer tanto a proteção de ecossistemas únicos quanto a coerência das políticas nacionais frente aos compromissos assumidos no cenário climático global.

- Recomenda-se a implementação urgente de medidas de gestão pesqueira específicas para o GARS, incluindo a delimitação de áreas de exclusão para artes destrutivas (arrasto e redes de fundo), fortalecimento do monitoramento e fiscalização ambiental e criação de zonas de manejo adaptativo que conciliem conservação da biodiversidade e uso sustentável dos recursos pesqueiros. Essas ações são fundamentais para garantir a resiliência do ecossistema recifal amazônico e a manutenção dos serviços ecossistêmicos que sustentam a pesca regional. Embora um projeto PELD GARS tenha sido descontinuado pelo CNPq recentemente, na próxima década, as petroleiras poderiam ampliar os investimentos em ciências do mar, de modo a equilibrar a produção de conhecimento científico sobre o GARS, a foz do rio Amazonas e a Margem Equatorial como um todo. É igualmente importante fortalecer pesquisas oceanográficas e ecológicas para embasar decisões regulatórias, direcionando parte dos recursos advindos do pré-sal para infraestrutura e capacitação em P&D marinho contribuiria para reforçar a soberania nacional. Mecanismos de transparência e monitoramento contínuo devem ser estabelecidos para assegurar que a expansão da fronteira petrolífera ocorra de forma compatível com a preservação ambiental e os interesses de longo prazo do país.
- Investir em Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) para alavancar as ciências do mar, incluindo a oceanografia, engenharia, sociologia e bioeconomia. Especial atenção aos estudos sobre estrutura, função e dinâmica do GARS e do megabioma amazônico. Garantir a preservação da biodiversidade por meio de sistemas inovadores de cultivo da biota do GARS, incluindo cultivos de algas, esponjas e corais em sistemas controlados, e manutenção da biodiversidade, seu material genético em condições seguras e de salvaguarda, evitando que a biodiversidade do GARS seja levada para grandes museus e centros de pesquisa do estrangeiro. Explorar a biodiversidade endêmica por meio da biotecnologia, biologia sintética, engenharia genética, fermentações e aplicações práticas. Obter novos fármacos, alimentos e bioinsumos a partir da biodiversidade do GARS. Investir em bioeconomia marinha para alavancar desenvolvimento socioeconômico, empreendedorismo e inclusão produtiva, incluindo investimentos em cultura que envolva as comunidades tradicionais, indígenas, e quilombolas.

Referências

1. R. B. Francini-Filho *et al.*, Perspectives on the Great Amazon Reef: Extension, Biodiversity, and Threats. *Front. Mar. Sci.* **5**, 142 (2018).
2. R. L. Moura *et al.*, An extensive reef system at the Amazon River mouth. *Sci. Adv.* **2**, e1501252 (2016).
3. B. Collette, K. Rützler, Reef fish over sponge bottoms off the mouth of the Amazon river. *Proc. Int. Coral Reef Symp.* 305–310 (1977).
4. M. Kempf, Notes on the benthic bionomy of the n-NE Brazilian shelf. *Mar. Biol.* **5**, 213–224 (1970).
5. J. D. Milliman, Role of calcareous algae in Atlantic continental margin sedimentation. in *Fossil algae*, E. Flügel, Ed. (Springer, Berlin, 1977), pp. 232–247.

6. J. D. Milliman, C. P. Summerhayes, H. T. Barretto, Quaternary sedimentation on the Amazon continental margin: A model. *Geol. Soc. Am. Bull.* **86**, 610–614 (1975).
7. C. V. Leal *et al.*, Integrative Taxonomy of Amazon Reefs' Arenosclera spp.: A New Clade in the Haplosclerida (Demospongiae). *Front. Mar. Sci.* **4**, 291 (2017).
8. L. V. Ramalho *et al.*, Bryozoa from the reefs off the Amazon River mouth: checklist, thirteen new species, and notes on their ecology and distribution. *Zootaxa* **4950**, 1–1 (2021).
9. T. N. S. Banha *et al.*, The Great Amazon Reef System: A fact. *Front. Mar. Sci.* **9**, 1088956 (2022).
10. N. E. Asp *et al.*, Water column and bottom gradients on the continental shelf eastward of the Amazon River mouth and implications for mesophotic reef occurrence. *J. Mar. Syst.* **225**, 103642 (2022).
11. G. Calegario *et al.*, Conserved rhodolith microbiomes across environmental gradients of the Great Amazon Reef. *Sci. Total Environ.* **760**, 143411 (2021).
12. C.Y. Omachi *et al.*, Light availability for reef-building organisms in a plume-influenced shelf. *Cont. Shelf Res.* **181** (2019).
13. A. G. C. de Macedo Klautau *et al.*, Biodiversity hotspots and threatened species under human influence in the Amazon continental shelf. *Sci. Rep.* **15**, 26681 (2025).
14. L. C. Nogueira *et al.*, Metagenomic and isotopic signatures of the Amazon River plume into the southern red snapper fish (*Lutjanus purpureus*). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **292** (2023).
15. A. L. J. Oliveira Silva *et al.*, Fisheries bycatch threatens sessile communities of the Great Amazon Reef System. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **319**, 109256–109268 (2025).
16. J. B. de Luna Sales *et al.*, Surveying cephalopod diversity of the Amazon reef system using samples from red snapper stomachs and description of a new genus and species of octopus. *Sci. Rep.* **9**, 5956 (2019).
17. L. M. Feitosa *et al.*, DNA-based identification reveals illegal trade of threatened shark species in a global elasmobranch conservation hotspot. *Sci. Rep.* **8**, 3347 (2018).
18. T. A. Menezes *et al.*, Fluxes of the Amazon River plume nutrients and microbes into marine sponges. *Sci. Total Environ.* **847**, 157474 (2022).
19. R. S. Oliveira *et al.*, Genome-resolved metagenomic analysis of Great Amazon Reef System sponge-associated Latescibacterota bacteria and their potential contributions to the host sponge and reef. *Front. Microbiomes* **2**, 1206961 (2023).
20. O. H. B. Pinto *et al.*, Genome-resolved metagenomics analysis provides insights into the ecological role of Thaumarchaeota in the Amazon River and its plume. *BMC Microbiol.* **20**, 13 (2020).
21. B. S. O. Silva *et al.*, Virioplankton Assemblage Structure in the Lower River and Ocean Continuum of the Amazon. *mSphere* **2**, e00366-17 (2017).
22. E. G. Tosetto *et al.*, Amazon River plume habitats shape planktonic cnidarian assemblages in the Western Atlantic. *PLoS ONE* **18**, e0290667 (2023).
23. M. M. Mahiques *et al.*, Insights on the evolution of the living Great Amazon Reef System, equatorial West Atlantic. *Sci. Rep.* **9**, 13699 (2019).
24. Academia Brasileira de Ciências, *Relatório do Grupo de Trabalho sobre Petróleo na Margem Equatorial Brasileira*. 1ª ed. (Rio de Janeiro) (2025).
25. R. T. M. P. de Souza *et al.*, Bromopyrrole Alkaloid Inhibitors of the Proteasome Isolated from a *Dictyonella* sp. Marine Sponge Collected at the Amazon River Mouth. *J. Nat. Prod.* **81**, 2296–2300 (2018).
26. F. D. Firmiano *et al.*, Do petróleo ao petróleo e os riscos socioambientais na Bacia da Foz do Amazonas. *Serv. Soc. Soc.* **148**, (2025).
27. P. B. M. Carneiro *et al.*, Interconnected marine habitats form a single continental-scale reef system in South America. *Sci. Rep.* **12**, 17359 (2022).

28. R. J. Costa *et al.*, Depth drive shifts in the fish and benthic assemblages of the South American Reef System. *Sci. Rep.* **14**, 29607 (2024).
29. J. R. Santos Filho *et al.*, Unveiling the mesophotic South Atlantic reef system (SARS): Mapping, evolution, and implications for Marine Spatial Planning (MSP) in the Western South Atlantic. *J. Mar. Syst.* **251**, 104119 (2025).

Petróleo na Margem Equatorial Brasileira

Trecho com as conclusões do documento “Relatório do Grupo de Trabalho sobre Petróleo na Margem Equatorial Brasileira”, produzido pelo GT da ABC (integrantes abaixo) e publicado em julho de 2025. O texto completo está disponível no site da ABC.

Alvaro Toubes Prata

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Jailson Bittencourt de Andrade

Centro Universitário SENAI-CIMATEC

Beatrice Padovani Ferreira

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Luiz Drude de Lacerda

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Milton José Porsani

Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Moacyr Cunha de Araujo Filho

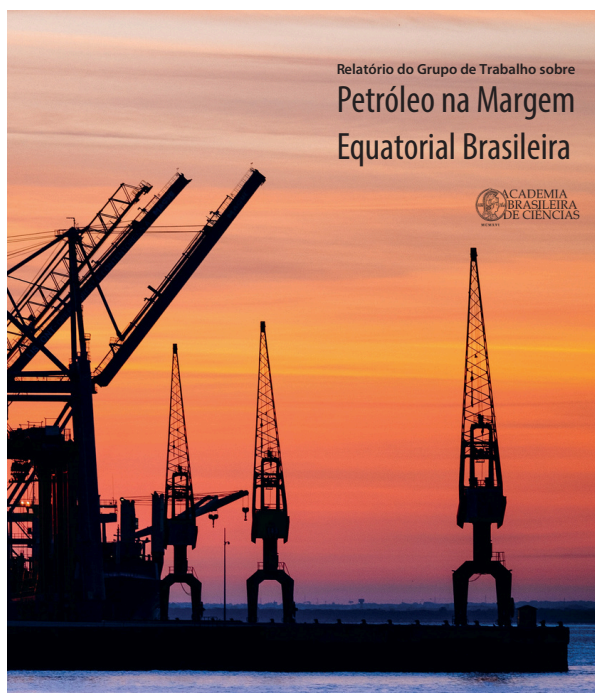
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Segen Farid Estefen

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Zelinda Margarida de Andrade Nery Leão

Universidade Federal da Bahia (UFBA)



O planeta enfrenta uma grave crise climática, com consequências ambientais profundas e crescentes. As projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) das Nações Unidas indicam que, para evitar que a temperatura global ultrapasse o limite crítico de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, é necessário atingir emissões líquidas zero de gases de efeito estufa até meados deste século. Trata-se de um desafio colossal, que exige ação coordenada de todos os países.

O relatório “Estado da Ação Climática 2023” (1), que avalia o progresso global coletivo rumo à meta de 1,5°C, aponta que os esforços atuais são insuficientes em todos os aspectos. Os avanços observados estão significativamente abaixo do ritmo e da escala necessários para conter a crise climática. Nesse contexto, a versão final do Balanço Global do Acordo de Paris (*Global Stocktake – GST*), divulgada na COP-28 em Dubai, reforçou a urgência de reduzir drasticamente as emissões de gases de efeito estufa para limitar o aquecimento global a, no máximo, 1,5°C até o fim do século. O GST apontou ações prioritárias para a implementação efetiva do Acordo, destacando, pela primeira vez, a necessidade de uma transição para a eliminação progressiva dos combustíveis fósseis, com vistas a alcançar emissões líquidas zero até 2050. A decisão aprovada apresenta diretrizes inéditas que envolvem diversos setores, com ênfase especial no setor de energia, e deverá orientar o caminho rumo à COP30, a ser realizada no Brasil em 2025. Avalia-se que os países desenvolvidos devem assumir a liderança nesse processo de eliminação gradual dos combustíveis fósseis.

Mais recentemente, o Brasil apresentou, durante a COP29 em Baku, Azerbaijão (2024), a versão atualizada de sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), reforçando seu compromisso com o esforço global de enfrentamento das mudanças climáticas. No documento oficial, o país assumiu a meta de reduzir as emissões líquidas de gases de efeito estufa entre 59% e 67% até 2035, em relação aos níveis de 2005, com o objetivo de atingir emissões líquidas zero até 2050. Isso corresponde a um volume absoluto de emissões entre 850 milhões (67%) e 1,05 bilhão (59%) de toneladas de CO₂ equivalente até 2035. Para orientar a implementação dessas metas, o Brasil adotará o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (Plano Clima) como instrumento central de sua política climática até 2035. A nova versão do Plano, prevista para 2025, está em fase de elaboração com ampla participação da sociedade e definirá ações concretas para a redução das emissões e a adaptação aos impactos das mudanças climáticas, impactos que já se fazem presentes e tendem a se intensificar nos próximos anos. O Plano Clima está previsto na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), atualmente também em processo de atualização sob a coordenação do Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM), em sua nova configuração estabelecida pelo Decreto nº 12.040, de 5 de junho de 2024. A nova versão do Plano estabelecerá as Estratégias de Mitigação e Adaptação para o enfrentamento das mudanças climáticas no Brasil, com destaque especial para o setor de energia, considerado estratégico na transição para uma economia de baixo carbono.

É importante destacar que alguns dos pilares essenciais para o enfrentamento da crise climática, como a eliminação do financiamento público a combustíveis fósseis, a redução acelerada do desmatamento e a ampliação de mecanismos de precificação de carbono, sofreram retrocessos significativos nos últimos anos. Em 2021, por exemplo, o financiamento público destinado a combustíveis fósseis aumentou de forma expressiva: os subsídios governamentais praticamente dobraram em relação a 2020, alcançando os níveis mais altos registrados em quase uma década. Já em 2022, o desmatamento global aumentou ligeiramente, atingindo 5,8 milhões de hectares, o que representa um sinal de alerta diante das metas de mitigação do aquecimento global.

A eliminação do uso de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás, e a transição para fontes

de energia renovável representam um dos pilares centrais da agenda climática. Outro elemento essencial envolve tanto a captura dos gases de efeito estufa (GEE) nas fontes de emissão quanto a remoção daqueles já presentes na atmosfera. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), será necessário remover da atmosfera cerca de 12 bilhões de toneladas de dióxido de carbono por ano até meados do século, para que possamos retornar ao patamar de 280 partes por milhão, valor que permaneceu estável por milhares de anos. Atualmente, a concentração de CO₂ atmosférico já ultrapassa 420 partes por milhão. Considerando que hoje emitimos aproximadamente três vezes mais CO₂ do que o montante que precisaria ser removido anualmente, a busca por tecnologias e processos eficazes de descarbonização torna-se não apenas um desafio urgente, mas também uma oportunidade estratégica para os países que liderarem essa transição.

A decisão de abrir uma nova fronteira exploratória de petróleo e gás na margem equatorial brasileira não pode ser analisada isoladamente, dissociada da ampla agenda global de enfrentamento das mudanças climáticas. As estratégias e compromissos que o Brasil pretende assumir junto à comunidade internacional devem ser explicitados com clareza e considerar todos os elementos envolvidos, como desmatamento, mudança no uso da terra, transição energética e descarbonização da economia. Nesse contexto, não há espaço para ambiguidades ou incertezas. As discussões e o reposicionamento internacional assumido pelo Brasil na COP28, em Dubai, com a perspectiva da realização da COP30 em Belém do Pará, em 2025, impõem ao país a responsabilidade de atualizar sua contribuição à meta global de limitar o aquecimento a, no máximo, 1,5°C. Essa atualização deve, se for o caso, incluir uma avaliação transparente sobre o papel de eventuais novas fontes de combustíveis fósseis no balanço nacional de emissões. Instrumentos como a atualização do Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), atualmente em curso, e a elaboração da 5ª Comunicação Nacional à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) serão fundamentais para acompanhar esse processo e garantir coerência entre as metas climáticas e as decisões de política energética.

O Brasil é um país marcado por profundas desigualdades, e a preocupação com uma transição energética justa, que considere, inclusive, o eventual uso do petróleo e gás da margem equatorial, é legítima, desde que esteja inserida em uma estratégia clara e articulada de controle das emissões de gases de efeito estufa e conservação ambiental. Antes que qualquer decisão sobre a exploração dessas reservas fósseis seja tomada, é indispensável adotar uma abordagem cautelosa, com base nos seguintes requisitos: i) garantia de plena segurança técnica e jurídica, incluindo a avaliação detalhada dos impactos socioambientais e dos riscos envolvidos; ii) demonstração da eficácia das medidas de resposta e contenção em caso de acidentes; iii) total transparência nos processos decisórios; e iv) realização de consultas públicas e ações de esclarecimento voltadas à sociedade, em especial às populações que possam ser diretamente afetadas.

Referência

1. S. Boehm, *et al.*, *State of Climate Action 2023* (Systems Change Lab, 2023).

Capacitação de pessoal na Amazônia

Marcio de Castro Silva Filho
Universidade de São Paulo (USP)



Imagem gerada por inteligência artificial durante a editoração.

A Amazônia Legal, região que abrange os estados do Amazonas, Amapá, Acre, Mato Grosso, Maranhão, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, é estratégica para o Brasil por sua biodiversidade, importância climática, população tradicional, mas também enfrenta desafios expressivos de assimetria no acesso à educação de pós-graduação, infraestrutura de pesquisa, fixação de docentes e pesquisadores, dentre outras dificuldades. Várias iniciativas incorporam esses desafios nas suas metas, diretrizes e ações específicas para compensar desigualdades regionais e fortalecer a capacitação de pessoal na Amazônia.

Plano Nacional de Pós-Graduação (PNPG): evolução das diretrizes relevantes para Amazônia

PNPG 2011-2020

No PNPG 2011-2020, as assimetrias regionais foram reconhecidas como um problema central. O documento inclui “Amazônia” entre os desafios brasileiros estratégicos que demandam capacitação de pessoal. Entre as metas estavam:

- Ampliar o número de mestres e doutores formados em todo o país, com atenção especial às Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.
- Estimular políticas de fixação de pesquisadores no interior, em regiões com menor oferta de pós-graduação.
- Promover cooperação acadêmica, programas como Procad-Amazônia e PDPG Amazônia foram pensados para estimular a pesquisa e a formação de pessoal de alto nível na região.

O Procad-Amazônia, por exemplo, criado em 2006, tinha por objetivo apoiar projetos conjuntos entre instituições amazônicas e outras do Brasil, com a finalidade de aumentar a formação de mestres e doutores, fomentar intercâmbios acadêmicos, e criar novos programas de pós-graduação na região.

Em termos quantitativos, até 2013, no âmbito do Procad (incluindo Procad-Amazônia e outros editais) foram apoiados centenas de projetos, e concedidas milhares de bolsas nos níveis de iniciação científica, mestrado/doutorado sanduíche, doutorado pleno e pós-doutorado.

Apesar desses esforços, o plano apontava que a Amazônia Legal abrigava apenas menos de 5% do quadro de doutores da federação, embora corresponda a aproximadamente 13,7% da população brasileira, além de receber uma parcela desproporcionalmente pequena dos recursos de C&T do país.

PNPG 2025-2029

O novo PNPG (2025-2029) reafirma prioridades semelhantes e propõe avanços para aprofundar a capacitação, com especial atenção às desigualdades regionais. Algumas das diretrizes mais relevantes:

- Elevar expressivamente o número de bolsas de pós-graduação para pós-graduandos de Instituições de Ensino Superior (IES) e PPGs localizados nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.
- Ampliar recursos de infraestrutura e pesquisa dos PPGs nessas regiões.
- Criar editais específicos para financiamento de PPGs em regiões assimétricas.

Um dado relevante: nos últimos dez anos, houve crescimento importante tanto no número de Programas de Pós-Graduação stricto sensu na região Norte quanto no número de matrículas de mestrado e doutorado nessa região.

Principais programas e instrumentos de apoio para capacitação na Amazônia

Além das diretrizes do PNPG, há programas específicos:

- Procad-Amazônia/Procad: já mencionados, são editais que possibilitam cooperação entre instituições para pesquisa, interiorização de programas, mobilidade do corpo discente e docente, criação de novos cursos e região e apoio financeiro para bolsas e custeio.
- PDPG Amazônia Legal: Programa de Desenvolvimento de Programas de Pós-Graduação na Amazônia Legal, que visa consolidar PPGs existentes, fortalecer redes regionais, fomentar novas áreas de concentração ou novos cursos específicos da região.
- Programas em rede como BioNorte, ProfCiAmb (Mestrado Profissional em Rede em Ensino em Ciências Ambientais) e ProfÁgua (Mestrado Profissional em Rede Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) que incluem instituições nos estados amazônicos, promovendo capacitação mais distribuída e próxima da realidade ambiental e social da região.

Desafios persistentes

Mesmo com esses programas e com as metas do PNPG, numerosos obstáculos permanecem:

- Infraestrutura de pesquisa desigual: muitas instituições da Amazônia carecem de laboratórios bem equipados, bibliotecas atualizadas, conectividade e acesso a bases de dados internacionais, o que limita tanto a qualidade da formação de mestres e doutores quanto a capacidade de produção científica competitiva.
- Fixação de pesquisadores: a mobilidade tende a levar alunos formados na Amazônia a migrarem para regiões com melhores condições de trabalho (melhor remuneração, mais oportunidades). Fixar doutores, reter talentos locais, é um desafio, exigindo melhores condições institucionais, carreira docente valorizada, incentivos para retorno com apoio das Fundações de Amparo à Pesquisa (FAPs), entre outros.
- Recursos financeiros: apesar de editais específicos e incentivos, o orçamento disponível para bolsas, custeios e infraestrutura tem se mostrado insuficiente para cobrir todas as demandas. Flutuações orçamentárias ou cortes impactam fortemente os PPGs em regiões com menor renda ou menor visibilidade institucional.
- Desigualdades regionais e intrarregionais: nem todos os estados da Amazônia Legal estão no mesmo nível. Alguns têm PPGs consolidados, outros estão em consolidação, muitos têm poucos cursos nos estratos mais altos da CAPES ou pouca oferta em áreas estratégicas para a região (como ciências exatas, engenharia, bioeconomia).
- Capacitação alinhada às demandas locais: a complexidade dos problemas ambientais, sociais, de povos indígenas, biodiversidade, alterações climáticas, etc., exigem formações com forte componente interdisciplinar e contextualizado. Há necessidade de adequar currículos, linhas de pesquisa, metodologias de ensino e pesquisa para que o conhecimento produzido responda às realidades locais.

Impactos, avanços e perspectivas

Apesar dos desafios, há avanços concretos que podem ser destacados:

- A expansão no número de PPGs e matrículas na Amazônia nos últimos anos, como indicado no PNPG 2011-2020, mostra que há uma tendência de interiorização e democratização do acesso à pós-graduação.
- Programas de rede e de cooperação têm possibilitado que instituições menores ou ainda em consolidação participem de projetos de pesquisa conjunta, mobilidade acadêmica, uso compartilhado de infraestrutura, o que gera economias de escala e melhora qualitativa.

- A identificação da Amazônia como área estratégica no fomento e nas prioridades nacionais (PNPG, ENCTI, Amazônia +10, etc.), dando visibilidade institucional, pode fortalecer parcerias nacionais e internacionais e políticas públicas intersetoriais que apoiem pesquisa, inovação, desenvolvimento sustentável.

Quanto às perspectivas:

- O reforço de editais específicos para a região, com critérios que considerem sua realidade socioeconômica pode criar novas oportunidades.
- Investimento contínuo em bolsas, mas também em infraestrutura: espaços físicos, laboratórios compartilhados, equipamentos, conectividade, apoio técnico – tudo isso precisa acompanhar o crescimento quantitativo.
- Políticas de fixação de doutores, valorização docente, oferta de condições de trabalho e carreira acadêmica, para diminuir a evasão/migração de talento da Amazônia para centros mais desenvolvidos.
- Fortalecimento de programas interdisciplinares ligados a temas amazônicos: biodiversidade, clima, povos tradicionais, bioeconomia, águas, florestas, entre outros, alinhando a formação de pessoal às demandas locais e globais.
- Avaliação contínua e indicadores claros para aferir não só quantidade de mestres e doutores formados, mas qualidade, relevância local, impacto social, retenção de talentos, equidade regional.

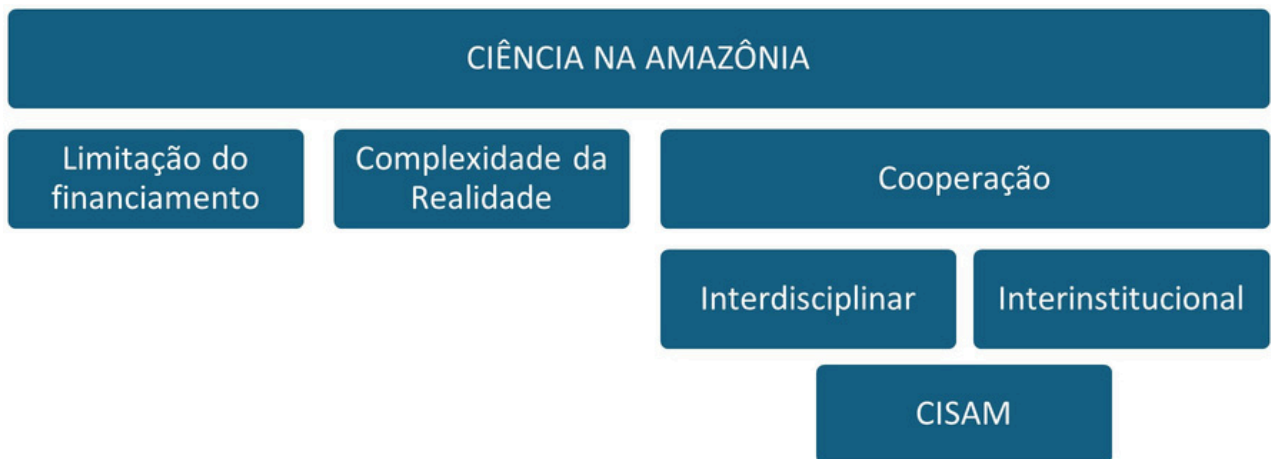
Considerações Finais

A capacitação de pessoal na Amazônia via pós-graduação é parte central do esforço para reduzir desigualdades regionais no SNPG e para garantir que o Brasil possa responder de forma qualificada aos desafios ambientais, sociais, culturais e climáticos associados ao bioma amazônico. O reconhecimento institucional desses desafios – nas versões anteriores do PNPG e agora com o plano 2025-2029 –, a existência de programas especiais (Procad, PDPG Amazônia, Amazônia +10, redes de mestrados profissionais, entre outros) e o crescimento observado de PPGs e matrículas indicam avanços.

Porém, para que esses avanços sejam duradouros e suficientemente abrangentes, é preciso conjugá-los com políticas de longo prazo de financiamento, infraestrutura, fixação e valorização de docentes e pesquisadores, e com compromisso real de superar as assimetrias não só entre regiões, mas dentro delas. A Amazônia não é um território homogêneo, e as políticas devem estar ajustadas para lidar com sua diversidade – física, cultural, institucional. Somente assim a capacitação de pessoal poderá gerar não apenas mais mestres e doutores, mas conhecimento relevante, produção científica de excelência e impactos concretos para as comunidades amazônicas e para o Brasil como um todo.

Cooperação científica na Amazônia

Emmanuel Zagury Tourinho
Universidade Federal do Pará (UFPA)



Introdução

A Amazônia depende de ciência intensiva para conceber e sustentar um ciclo de desenvolvimento socioeconômico sustentável e inclusivo, para conhecer as suas riquezas naturais e aproveitá-las em uma perspectiva de proteção do bioma e de promoção de qualidade de vida para a sua população (1). Há hoje na região massa crítica para responder a esse desafio. Há grupos de pesquisa bem estruturados e produtivos em todas as áreas de conhecimento, trabalhando na fronteira da ciência e em parceria com pesquisadores e instituições de todos os continentes. Esses grupos, de reconhecida competência e liderança nacional e internacional, estão vinculados às universidades públicas instaladas em dezenas de municípios amazônicos e aos institutos de pesquisa sediados na região.

Universidades públicas e institutos de pesquisa amazônicos atualmente respondem pela maior parte da ciência produzida sobre a região. Investigam as múltiplas dimensões da realidade regional, contemplando questões ambientais, sociais, culturais, econômicas, fundiárias e territoriais, dentre outras. Conhecem de modo único as complexas interrelações entre dinâmicas ecológicas e dinâmicas humanas e sociais – as que foram fundamentais para manter a floresta de pé e os rios fluindo limpos até recentemente, e as que têm promovido a sua rápida degradação nas últimas décadas. São instituições de ciência e tecnologia (ICTs) aptas a liderar um grande esforço científico para fazer da Amazônia uma referência para o país nas áreas ambiental, civilizatória, de segurança alimentar e da sociobioeconomia, para ficar só com alguns exemplos. Essas instituições dependem, no entanto, de políticas públicas de ciência e tecnologia que possibilitem o pleno aproveitamento da capacidade científica hoje acumulada.

Estado da Arte

A Amazônia de hoje encontra-se bem mais degradada e ameaçada do que há algumas décadas. O “arco do desmatamento”, detectado com nitidez por satélites e explicado sobretudo pela expansão da fronteira agrícola na região, é um retrato apenas parcial das perdas ambientais e humanas. Consideradas todas as graves transformações que atingem o território amazônico hoje (a exemplo do desmatamento, contaminação dos rios por mercúrio, conflitos fundiários e deslocamento forçado de populações tradicionais por projetos energéticos e minerais), um retrato mais preciso seria dizer que a Amazônia está esfarelado, no sentido de que está experimentando fragmentações ou perdas em todos os seus quadrantes, fissuras em muitas partes de seu bioma, perda de biodiversidade e violências contra os sistemas culturais que contribuíram, no passado, para a conservação da floresta e dos rios. Estamos diante do risco de chegar ao “ponto de não retorno” não apenas da floresta, mas também dos sistemas socioculturais que por séculos a conservaram e a protegeram. Nesse ambiente, educação, ciência e tecnologia constituem forças que, em uma direção oposta, têm sustentado ações de conservação ambiental, promoção de direitos, inclusão social e a sociobioeconomia.

O esforço científico que contribui para um horizonte de desenvolvimento sustentável e inclusivo na Amazônia envolve ações que articulam a produção de conhecimento, o desenvolvimento de soluções originais para os desafios regionais e o empoderamento das populações locais com informações qualificadas sobre a sua realidade. Graças aos que fazem ciência na região, conhecemos mais sobre a biodiversidade amazônica, sobre o potencial econômico de suas riquezas, sobre as relações entre floresta e clima, sobre os sistemas culturais ricos e diversos que definem seus povos, sobre os riscos à saúde do amazônida, entre outros. Como já apontado, muito mais pode ser realizado se o sistema de universidades públicas e institutos de pesquisa na Amazô-

nia tiver acesso aos meios de que necessita para realizar todo o seu potencial, isto é, se for superada a histórica assimetria na distribuição dos recursos nacionais para ciência e tecnologia. É preciso reconhecer, por outro lado, que os desafios para a pesquisa na Amazônia têm outras dimensões. Fazer a ciência e desenvolver as soluções de que a Amazônia necessita dependem largamente de cooperação em duas direções: interdisciplinar e interinstitucional.

As interações entre o ambiente natural e as formas que a presença humana na região adquire definem largamente qualquer fração da realidade que se eleja como objeto de estudo. O trabalho interdisciplinar torna-se, assim, impositivo tanto na pesquisa quanto no desenvolvimento de tecnologias para o desenvolvimento regional. A conservação da biodiversidade na Amazônia constitui um exemplo; requer a compreensão tanto de fatores ecológicos e climáticos quanto de aspectos sociais, territoriais e fundiários relacionados. Apenas com a integração de saberes científicos diversos (e também de saberes tradicionais) é possível avançar em temas com similar complexidade.

A extensão continental do território amazônico, a diversidade de paisagens e de sistemas socioculturais (as muitas “Amazônias”) e as urgências que compõem a agenda regional tornam o seu conhecimento e o desenvolvimento de soluções uma tarefa para o trabalho colaborativo interinstitucional e com grupos de pesquisa de outras regiões e países. Essas cooperações têm tornado possível alargar o campo temático da pesquisa, as parcelas da realidade regional alcançadas pelos estudos e o universo de interações com grupos sociais locais.

Um exemplo de esforço interdisciplinar e interinstitucional da pesquisa na Amazônia é o Centro Integrado da Sociobiodiversidade da Amazônia (CISAM), iniciativa da Universidade Federal do Pará que busca articular o trabalho de investigação e desenvolvimento em oito áreas temáticas: a) Biodiversidade e conservação; b) Monitoramento da água, floresta, solo e clima; c) Monitoramento do oceano e da foz do Amazonas; d) Contaminação ambiental e saúde do amazônida; e) Povos e populações na Amazônia; f) Cidades vilas e territórios amazônicos; g) Dinâmicas socioeconômicas territoriais e fundiárias na Amazônia; e h) Inovação, sociobioeconomia e desenvolvimento Sustentável (2). O CISAM nasceu com a colaboração de pesquisadores de treze universidades federais amazônicas, associados a parceiros brasileiros e estrangeiros diversos e aos quais espera-se que venham se juntar pesquisadores das outras ICTs amazônicas.

A agenda de trabalho do CISAM difere ligeiramente da rotina de pesquisa em outros ambientes. Ela prevê: a) a elaboração de agendas de pesquisa a partir do diálogo com as populações locais, em adição à interlocução com a comunidade científica; b) a integração da pesquisa com a extensão e atividades diversas de apoio às ações dos setores organizados da sociedade; c) o diálogo interno das equipes umas com as outras, para promover uma visão global da realidade amazônica e abordagens interdisciplinares para os problemas; e d) além da produção científica, entregas diversas à população, inclusive na forma de diagnósticos e recomendações para políticas públicas.

Para concluir, há uma inteligência instalada na Amazônia, em condições de falar a partir de um conhecimento privilegiado dos problemas que afligem as populações locais e de suas potenciais soluções. Essa inteligência é capaz de formular estratégias originais de desenvolvimento da pesquisa na região, alinhadas com as necessidades regionais e em um contexto de colaboração interna e com parceiros de outras regiões e países. Políticas públicas que apoiem iniciativas dessa ordem podem transformar a Amazônia em uma potente fronteira da ciência nacional.

Recomendações

- Instituir uma distribuição regionalmente equitativa dos recursos nacionais para ciência e tecnologia. Garantir um mínimo de 10% dos recursos destinados em todas as chamadas públicas das agências federais a propostas lideradas por grupos de pesquisa sediados na Amazônia (reconhecer que a destinação de 30% para as Regiões Norte, Nordeste e Centro Oeste não tem sido efetiva para garantir o atendimento adequado da Região Norte).
- Fortalecer a infraestrutura física e de equipamentos das ICTs amazônicas, reconhecendo as particularidades regionais (custo amazônico, distâncias, estágio na estruturação das ICTs).
- Apoiar a formação e consolidação de redes de pesquisa temáticas e interdisciplinares em áreas de importância central para a Amazônia.
- Promover a cooperação internacional em projetos liderados nacionalmente por grupos de pesquisa sediados nas ICTs amazônicas.
- Garantir aos novos programas de pós-graduação nas ICTs amazônicas condições para que se consolidem. Apoiar especialmente a verticalização desses programas com a criação do nível de doutorado.

Referências

1. Academia Brasileira de Ciências, *Amazônia: Desafio Brasileiro no Século XXI* (Fundação Conrado Wessel, 2008).
2. L. Juen, *Criação de centro de pesquisa integrado poderá superar os desafios da pesquisa na Amazônia* (The Conversation, 2024).

Financiamento da pesquisa na Amazônia

Luiz Davidovich

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Celso Pansera

Companhia de Desenvolvimento de Maricá (Codemar)



Imagem gerada por inteligência artificial durante a editoração.

Introdução

A Região Sudeste abriga programas em ciência e tecnologia de grande envergadura, como o CNPEM, o NB4, o Reator Multipropósito, parques tecnológicos no Rio de Janeiro e em São Paulo, o Instituto Butantã e a Fiocruz. Certamente relevantes para o país, contribuem, no entanto, para a grande assimetria regional dos investimentos em ciência, tecnologia e inovação, prejudicando uma parcela significativa da população e privando o Brasil de uma fonte de riqueza importante, proveniente de sua diversidade regional. O Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) pode ajudar a reduzir essa assimetria, por meio do financiamento de projetos de ciência, tecnologia e inovação voltados para o desenvolvimento das Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Em particular, o financiamento de pesquisas voltadas para o desenvolvimento sustentável da Amazônia, relacionadas com a rica biodiversidade da região e visando inovações tecnológicas, pode contribuir para a redução da assimetria dos investimentos.

A floresta amazônica, que ocupa aproximadamente 49,3% do território nacional, detém cerca de 10% da biodiversidade mundial. A sustentabilidade desse bioma é importante para o equilíbrio climático global, para a conservação de espécies endêmicas e ecossistemas únicos, e desempenha papel crucial no uso de recursos hídricos para água potável, navegabilidade, aproveitamento energético, pesca e lazer. Abriga também povos indígenas e comunidades locais detentoras de conhecimento ecológico e técnicas de manejo sustentável. Além disso, esse bioma representa, se explorado de forma sustentável, um notável tesouro, com grande potencial econômico. O desenvolvimento de uma biotecnologia baseada nessa biodiversidade, com a participação da população local, aumentaria o impacto mundial da ciência e da inovação nacional, ofereceria uma alternativa à destruição desse bioma e ajudaria a descentralizar as atividades de pesquisa e inovação no país.

Estado da Arte

Nos últimos 50 anos, diversos programas foram concebidos para a Amazônia, permitindo a criação de instituições de ciência e tecnologia distribuídas na região, dedicadas à pesquisa e à formação de recursos humanos. Como mencionado em documento sobre a Amazônia da Academia Brasileira de Ciências, publicado em 2008, *"todos esses programas, no entanto, foram caracterizados por uma fase de expansão, seguida de estagnação e declínio, que decorreram, em grande parte, da desarticulação e da falta de continuidade das políticas públicas"* (1). Por outro lado, todos os Estados da região possuem agora Fundações de Amparo à Pesquisa (FAPs), a última tendo sido criada em Roraima, em 2022. Uma evolução importante, que fortalece a infraestrutura científica regional.

Segundo o Mapbiomas (2), a Amazônia foi o segundo bioma com maior perda no país, em 2024, com 30,4% da área desmatada no ano, o primeiro lugar cabendo ao Cerrado, com 52,5% do total desmatado. A boa notícia é que o desmatamento diminuiu em 2023 e 2024, devido a ações de combate dos governos estaduais e federal, e também a uma ação de instituições financeiras, especialmente o BNDES, que, desde 2023, checam se há desmatamento antes de concederem crédito rural (2). Essa ação no âmbito da economia deveria ser acompanhada de alternativas de restauração e exploração sustentável dos biomas (3), o que requer uma redução da assimetria no financiamento da pesquisa e da inovação no país.

Analisaremos aqui essa assimetria, tendo como referência os valores contratados pela Finep. Em 2024, 4,3% dos pesquisadores do Brasil estavam na Região Norte, segundo o Painel Lattes. No entanto, os valores contratados pela Finep para essa região, em 2024, corresponderam a apenas

1,5% do total nesse mesmo ano, contrastando com o percentual de 5,8% em 2002. Ao longo das últimas duas décadas, houve um decréscimo do percentual dedicado à Região Norte, acompanhado de um aumento nas Regiões Sul e Sudeste. O percentual para a Região Sul aumentou de 14,7% em 2002 para 41,7% do total de recursos em 2024.

O exame detalhado do valor contratado por instrumento e região do país ajuda a entender essa assimetria do financiamento para pesquisa e inovação no país. Tanto para a Região Sul como para o Sudeste, o aumento do financiamento ocorreu principalmente no crédito, com valores muito reduzidos para a Região Norte, sendo mesmo inexistentes nessa região em 2016. Considerando apenas a fração para a Região Norte do financiamento reembolsável a instituições de ciência e tecnologia (ICTs), ela variou de 2,3% do total em 2014 a apenas 1% em 2016, alcançando, no entanto, 4,3% em 2024, percentual que coincide com o de pesquisadores na Região Norte.

Essa assimetria crescente reflete, pois, principalmente a expansão do crédito e a tendência do sistema de financiamento de atender à demanda existente, o que só poderia ser revertido por meio de uma política de Estado que induzisse programas inovadores na região, sintonizados com suas características territoriais e sociais. Programas que deveriam envolver a população local e reforçariam alternativas à destruição da floresta, devido ao corte de árvores, resultante do comércio ilegal de madeira e da expansão da fronteira da agropecuária, e à poluição dos rios com mercúrio, resultante do garimpo de ouro (4). Essas atividades contribuem para que a Região Norte seja, devido em grande parte ao desmatamento, a maior emissora de gases de efeito estufa entre as regiões brasileiras. De acordo com o Sistema de Estimativa de Emissão de Gases (SEEG), o Brasil era, em 2022, o 7º maior emissor de gases de efeito estufa do mundo (5), cerca de 50% das emissões sendo devido ao desmatamento.

Acrescente-se que a Amazônia tem potencialmente um papel importante na cooperação internacional do Brasil, pois é compartilhada por nove países: Brasil, Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Venezuela e Suriname. Evitar o desmatamento e recuperar a floresta são desafios para a ciência e a inovação, para o Brasil e os demais países amazônicos, motivando a cooperação em ciência e tecnologia entre esses países, atualmente muito reduzida. Uma política consistente para a Amazônia não apenas traria benefícios econômicos para o Brasil e os países amazônicos, advindos da exploração sustentável da rica biodiversidade, como ajudaria a mitigar as mudanças climáticas.

Para isso, seria necessário um programa de grande porte e de longa duração, envolvendo diferentes Ministérios, Governos Estaduais, setores empresariais e sociedade civil. A criação de laboratórios de biotecnologia, instalados na Amazônia e no Cerrado, com participação das comunidades locais, para a identificação e purificação de princípios ativos, traria riqueza para a região e para o Brasil, pois seria elemento importante de um complexo industrial da saúde que promovesse a produção de fitomedicamentos e fármacos.

Recomendações

- Criar uma coordenação supraministerial para criar e articular instituições que lidam com biodiversidade, visando promover a produção de fitomedicamentos e fármacos.
- Criar laboratórios de biotecnologia, instalados na Amazônia e no Cerrado, com participação das comunidades locais, para a identificação e purificação de princípios ativos.

- Estabelecer mecanismos que atraiam empresas de base tecnológica voltadas para a biodiversidade com financiamentos diferenciados.
- Aumentar, por meio de uma política específica, a colaboração com as FAPs pelo MCTI e pelo MEC, de modo a fortalecer a infraestrutura científica regional.
- Estabelecer cooperação com países amazônicos para a pesquisa e o uso sustentável da biodiversidade e a eliminação da poluição dos rios por mercúrio.

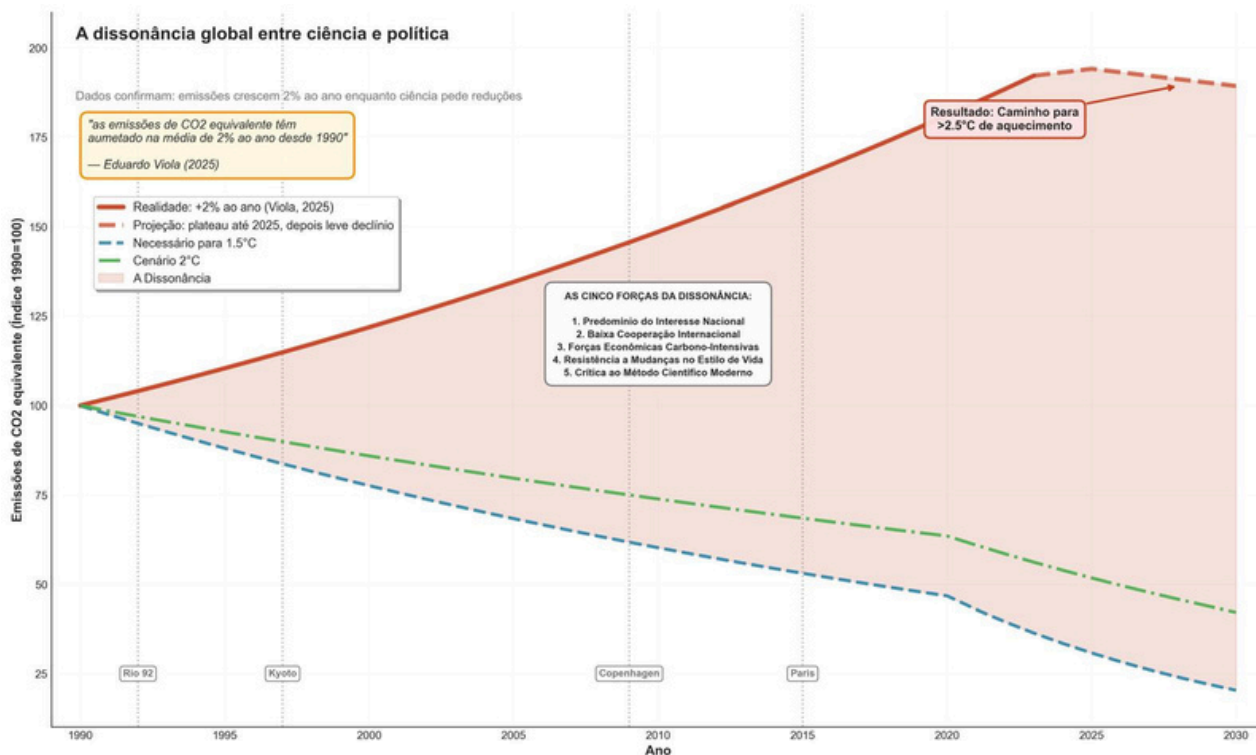
Referências

1. Academia Brasileira de Ciências, *Amazônia: Desafio Brasileiro no Século XXI* (Fundação Conrado Wessel, 2008).
2. MapBiomas Brasil. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>.
3. Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), *Inundações, seca e fogo: O alerta dos biomas. Uma contribuição à COP30*. Organizadores: Celso Pansera, Ima Vieira, Luiz Davidovich e Fernando Peregrino (Expressão Popular, São Paulo, 2025).
4. Academia Brasileira de Ciências, *Contaminação por mercúrio: Por que precisamos de um plano de ação?* (Rio de Janeiro, 2022).
5. Sistema de Estimativa de Emissão de Gases. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/>.

A dissonância entre a ciência e a política da mudança climática

Eduardo Viola

Universidade de Brasília (UnB)

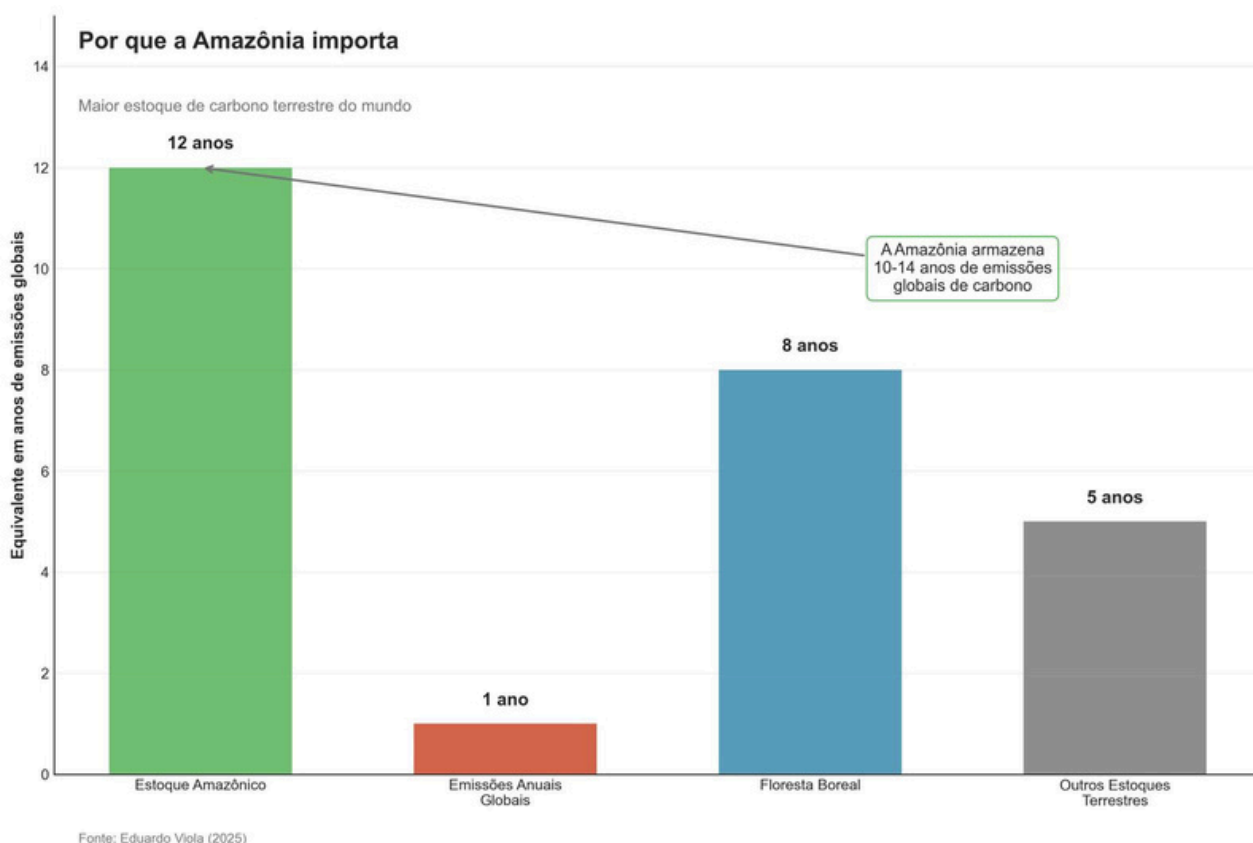


Introdução

O ano de 1988 foi decisivo para a construção de um regime internacional de mudança climática: por iniciativa do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) e da Organização Meteorológica Mundial (WMO) foi criado o Painel Intergovernamental de Mudança Climática (IPCC). O primeiro relatório, publicado em 1990, estabelece que existe alta probabilidade de que as atividades humanas estão produzindo o aquecimento global. O grau de certeza desta relação de causalidade foi aumentando nos relatórios posteriores até o sexto relatório em 2021-2022, ao ponto em que o consenso sobre a existência de um processo de mudança do clima antrópico é quase total na comunidade científica. Seguindo esse consenso crescente, a Convenção do Rio (1992), o Protocolo de Kyoto (1997) e o Acordo de Paris (2015) estabeleceram as metas da comunidade internacional para enfrentar o problema. Desde a Rio 92 sabemos que a solução principal passa por reduzir consistentemente as emissões de gases de efeito estufa. Contudo as emissões de CO₂ equivalente têm aumentado na média de 2% ao ano desde 1990, evidenciando uma clara inconsistência entre as necessidades estabelecidas pela ciência e a resposta política em todos os níveis.

Esse panorama se repete no Brasil, particularmente em relação à floresta amazônica, onde convivem uma sólida comunidade científica com conhecimentos sólidos sobre a gestão adequada do bioma com as deficiências da administração do território amazônico, resultando na perda e degradação sistemática da floresta.

A partir de que, hoje, a ciência da mudança climática está bastante avançada e muito bem estabelecida, é importante refletir sobre o porquê de suas conclusões e recomendações encontrarem tantos obstáculos no plano da economia política. A seguir, podemos enunciar cinco fatores causais que poderiam explicar a forte defasagem entre a ciência e a política da mudança climática, para passar logo a uma série de recomendações para mitigar a situação.



Estado da Arte

Em primeiro lugar, temos o predomínio quase absoluto do interesse nacional (definido de um modo estreito) de cada um dos nove maiores emissores de carbono – China, EUA, Índia, Rússia, Brasil, Indonésia, Japão, Arábia Saudita e Canadá – sobre o interesse geral da humanidade. Apenas a União Europeia/Reino Unido têm incorporado – por ser um continente consistentemente democrático – em grau limitado, o interesse da humanidade e, por isso, têm uma trajetória constante (mas aquém do necessário) de redução de emissões de carbono desde 2006. Os governos daqueles países (exceto Rússia, Arábia Saudita e os EUA, quando os republicanos ocupam a Presidência) aceitam plenamente a ciência da mudança climática no plano do discurso, mas não são consistentes no plano da implementação.

Em segundo lugar, temos o baixo grau de cooperação devido ao sistema internacional continuar sendo anárquico, ou seja, não existir uma autoridade superior aos Estados Nacionais, com capacidade efetiva de impor o cumprimento das regras e resoluções acordadas coletivamente. A Política Ambiental nasceu no Ocidente democrático na década de 1970 e, na segunda metade da década de 1980, a comunidade científica e as ONGs ambientalistas conseguiram impulsionar a formação do regime internacional de mudança climática na conjuntura favorável produzida pelo fim da Guerra Fria. No entanto, a dissonância entre as declarações e promessas dos países e a implementação foi sempre bastante forte. A partir de 2018, os obstáculos à cooperação têm-se acentuado devido à competição geopolítica intensa entre os EUA e a China, às respostas nacionalistas à pandemia, à invasão russa à Ucrânia e à guerra no Meio Oriente. Finalmente, o governo Trump, em 2025, em poucos meses, aprofundou o enfraquecimento da cooperação internacional com a retirada dos EUA da Organização Mundial da Saúde e do Acordo de Paris, com a imposição unilateral de tarifas comerciais e com os ataques à democracia e à ciência. Nesse quadro, a defasagem entre o financiamento climático necessário para os países pobres e a oferta dos países ricos tende a ser gigantesca. Portanto, não deveria ser surpresa o crescimento do ceticismo e ressentimento nos países pobres.

Em terceiro lugar, temos a baixa disposição para sacrifícios e mudança do estilo de vida consumista, intensivo em energia e materiais, na grande maioria da população dos países desenvolvidos (incluída a China) e nos estratos sociais mais altos das sociedades de renda *per capita* média. Os partidos e os políticos que propõem reformas consistentes têm dificuldades para se elegerem e governarem.

Em quarto lugar, temos uma correlação entre as forças econômicas conservadoras carbono-intensivas e as forças reformistas, orientadas para a descarbonização, que continua a ser favorável às primeiras na maioria dos países, apesar dos indiscutíveis avanços das segundas nas últimas duas décadas. Houve um extraordinário progresso das energias renováveis nos últimos dez anos, mas as energias fósseis resistem e continuam crescendo ao nível global, quando o necessário seria uma aceleração maior das energias renováveis e uma redução consistente das energias fósseis.

Em quinto, existe um processo de crítica ao método científico filho da modernidade, que desmerece o peso das evidências empíricas vis a vis narrativas ideológicas, políticas ou religiosas. Este movimento é heterogêneo e desigualmente distribuído no mundo, mas afeta desde indivíduos seduzidos por teorias conspiratórias até partidos políticos do Ocidente democrático – incluído o Partido Republicano que ao subordinar-se a Trump se orienta para a autocracia.

Para além dos fatores mencionados, vivemos, desde alguns anos, transformações sociais muito

profundas geradas pela velocidade extrema das mudanças em todos os planos da vida humana: digitalização da comunicação e suas sequelas negativas associadas à desinformação em massa; intensificação da polarização política, cultural e afetiva; crise das democracias e fortalecimento das autocracias; aumento de frequência e intensidade dos extremos climáticos; avanços estonteantes da inteligência artificial; guerra cibernética cotidiana entre as grandes potências; e aumento do risco de guerra nuclear. Nesse contexto de medo e ansiedade generalizada, a crise climática é percebida como apenas mais uma crise, gerando uma crescente sensação de impotência ao invés da disposição para a ação e o enfrentamento do problema. O poder da ciência climática, nesse contexto, é bastante limitado.

No caso do Brasil, ele tem uma comunidade científica do clima e da preservação que se destaca globalmente e à ela devemos grande parte do conhecimento sobre o funcionamento da floresta e seu lugar no ciclo global do carbono. Apenas para ilustrar, sabemos que o estoque de carbono acumulado na Floresta Amazônica equivale de 10 a 14 anos de emissões globais de carbono, consistindo no maior sumidouro, junto com a Floresta Boreal e com o metano acumulado na Tundra. Esse estoque está ameaçado pelo desmatamento (que oscila ao ritmo de mudanças de governos e é heterogêneo entre os países) e pelas queimadas produzidas pelo aquecimento global, que estão aumentando perigosamente, já que, no ano de 2024, possivelmente, foram as maiores fontes de perda de florestas se comparadas aos desmatamentos.

Contudo, no caso brasileiro se repete o padrão global de distância entre o conhecimento científico e as respostas políticas. Assim, por exemplo, a cooperação regional para a proteção da floresta é muito limitada: a Organização do Tratado de Cooperação Amazônica (OTCA) tem baixa capacidade de governança da imensa região e seus recursos financeiros são extremadamente limitados.

Dos países amazônicos, Brasil é o país que tem mais capacidades estatais para proteção da floresta, mas elas são limitadas em recursos financeiros e materiais e enfrentam o crescente poder do crime organizado transnacional. A proteção da Amazônia não é uma prioridade para nenhum dos países que têm soberania sobre seus recursos – sendo sua proteção condicional ao desenvolvimento econômico, ameaças de segurança e lógicas político-eleitorais de curto prazo. Suas populações são mais pobres que as respectivas médias nacionais; sua economia é menos desenvolvida e suas unidades subnacionais são, em geral, periféricas à estrutura de poder nacional. As populações das unidades subnacionais mais desenvolvidas são, em geral, contrárias à transferência de recursos substanciais que priorizem a proteção da floresta. Assim, na Amazônia, reproduz-se a dissonância entre a ciência e a política climática que predomina na escala planetária.

Recomendações

- Fortalecer o orçamento de ciência, tecnologia e inovação climática em todos os países de renda alta e média alta, inclusive para compensar a política anticientífica do governo Trump.
- Estabelecer uma aliança entre a União Europeia, o Reino Unido, a China (que, apesar de ser uma autocracia, tem elites dirigentes que internalizaram parcialmente a necessidade da descarbonização) e o Brasil para conseguir avanços, mesmo que a conjuntura internacional seja desfavorável. Um fator fundamental para o avanço seria a China deixar de se considerar um país em desenvolvimento e assumir sua realidade de país desenvolvido – superpotência econômica, militar, tecnológica e energética – e conseqüentemente reconhecer obrigações de financiar os países pobres.

- O Brasil assumir sua posição de país mais desenvolvido e com maior soberania sobre a Amazônia (62% da floresta), mobilizando recursos financeiros, científicos e técnicos para fortalecer a cooperação regional, particularmente tornando a OTCA numa instância de governança regional efetiva.
- O governo e a sociedade brasileira promoverem uma transferência substancial de recursos para os Estados e municípios amazônicos para impulsionar governança sistêmica, projetos orientados para o desenvolvimento sustentável e a elevação da qualidade de vida de suas populações.
- Aumentar a cooperação internacional para a preservação da floresta e o desenvolvimento sustentável.
- Aumentar a presença do Estado Nacional na Amazônia com o objetivo de combate sistemático ao crime organizado: fortalecer a Polícia Federal, o IBAMA, a Justiça Federal e as Forças Armadas para esse objetivo.
- Aumentar a proporção do orçamento de ciência, tecnologia e inovação destinado à Amazônia, inclusive fortalecendo suas universidades e centros de pesquisa.

Sete recomendações para ação climática

Como reduzir a dissonância entre ciência e política

Recomendação	Escopo	Prioridade
1. Fortalecer orçamento de C&T climática	Global (países desenvolvidos)	Alta
2. Aliança UE-Reino Unido-China-Brasil	Internacional (COP 30)	Muito Alta
3. Brasil liderar cooperação amazônica	Regional (OTCA)	Alta
4. Transferência de recursos para Amazônia	Nacional (Estados/Municípios)	Muito Alta
5. Aumentar cooperação internacional	Internacional (preservação)	Alta
6. Combate ao crime organizado na Amazônia	Nacional (segurança)	Alta
7. Mais C&T para universidades amazônicas	Nacional (educação/pesquisa)	Média

Fonte: Eduardo Viola (2025)

A relação entre ciência e política num tempo turbulento

Renato Janine Ribeiro
Universidade de São Paulo (USP)



Imagem gerada por inteligência artificial durante a editoração.

Introdução

As décadas finais do século XX foram promissoras. Ditaduras caíram, de direita e de esquerda. A democracia se expandiu. Uma consciência ambiental cresceu. A miséria e a fome se reduziram. Contudo, após a crise das *subprimes* exportada pelos Estados Unidos, fez reverter essa tendência mundial a uma vida melhor. Gradual, mas firmemente, regimes extremistas, pautados pelo ódio ao diferente e pela busca ilimitada do lucro, se espalharam pelo planeta. O Brasil conseguiu reverter essa situação, mas não se sabe por quanto tempo – já que os Estados Unidos recolocaram no poder o extremismo.

É neste quadro que nos situamos. Poucas vezes na História esteve a humanidade numa tal encruzilhada. A tecnologia pode ser usada para o bem e para o mal. Uma consciência ética se torna mais que nunca necessária. Os riscos são elevados. A vida humana pode desaparecer da face da Terra. Os valores éticos estão ameaçados pela destruição. Temos um combate entre vida e morte, pulsando nas sociedades humanas.

Uma tomada de posição firme é imperiosa. No passado, várias vezes se entendeu que o compromisso da ciência com a verdade podia levá-la a chocar-se com os princípios éticos. Mas, hoje, numa sociedade que ampliou a compreensão do que é a ética, cientistas e pensadores éticos, assim como democratas, se aproximam. É a chance que temos de salvar nossa espécie.

Estado da Arte

Dependendo de como datemos seu início – já da Baixa Idade Média, quando por volta do ano 1200 começam as cidades-Estado do norte da Itália a desenhar o que um dia se chamará democracia, da Renascença e do século XVII, quando Copérnico, Galileu, Bacon e Descartes abrem a ciência moderna, ou ainda do século XIX, quando Baudelaire se dispõe a pintar a “vida moderna”, dando nascença à arte dita moderna – vivemos no tempo da modernidade. Ela é o *boot* que abre nosso sistema operacional mental toda manhã, quando despertamos (pois o sonho, o inconsciente, não é moderno!). Ora, o que caracteriza a modernidade, na ciência e na vida social, embora talvez não na arte? A percepção de que podemos e devemos controlar a natureza e a vida social, por meio da ciência.

Foi isso o que constituiu a tecnologia, com Bacon e Descartes falando em a ciência nos tornar senhores e donos da natureza. Mas há, hoje, uma consciência do lado perverso dessa dominação predatória sobre a natureza. Além disso, aprendemos que o que eram *acts of God* ou frutos da fortuna podem e devem ser contidos graças à ciência.

Muda, assim, a meta da ciência no século XXI: não mais dominar a natureza pela violência, pelo estupro – mas garantir um equilíbrio entre a natureza e a cultura, entre o mundo humano e o não-humano. O foco principal da ciência, hoje, está na preservação da espécie humana e de um mundo no qual ela possa viver. Daí que o pêndulo tenha passado, da bomba atômica como maior produto da ciência no século XX, para a ênfase nos avanços da saúde – desde o tratamento das águas potáveis ou servidas, até a expansão da expectativa de vida, que em alguns casos quase dobrou em cem anos.

A Amazônia é a realidade e a metáfora desta preocupação. Ela é o *locus*, o *topos* que melhor simboliza a necessidade de conter o aquecimento climático, a poluição, a destruição que não é apenas das matas, mas das águas e sobretudo das populações, humanas e não humanas, que vi-

vem na maior reserva de biodiversidade do planeta. Discutir o que fazemos com ela – o Brasil, mas também todas as nove nações que têm autoridade na região, e mais ainda, o planeta inteiro, que dela se beneficia e também a agride – significa debater qual proposta temos para nosso mundo, e como poderemos preservar a humanidade. Porque não se trata, como diz o slogan, erroneamente, de “salvar o planeta”: ele irá bem, muito bem mesmo, sem o ser humano, seu maior predador; quem precisa ser salva é a espécie humana, que faria bem em parar de fingir que pretende salvar a Terra, quando o que deseja, sim, é sobreviver ela mesma. Mas, para sobrevivermos, teremos que cessar a busca ingente e indecente pelo lucro.

Aqui entra a política. Há política quando o ser humano procura ser sujeito de seu destino – não apenas padecê-lo, mas decidi-lo; quando ele decide agir. Há política democrática quando essa decisão e ação se fazem coletiva, e não individualmente; quando visam ao bem comum e não a interesses particulares. E precisamos dar um passo a mais, integrando na ideia de bem comum não apenas o que é comum aos humanos, mas o que inclui a natureza, animal, vegetal e mesmo mineral. Devemos construir uma ética para além do humano.

Esta é nossa tarefa. Vivemos num mundo cada vez mais veloz. Cleópatra estava mais perto do primeiro faraó conhecido, Menes, que morreu em 3150 a.C., do que de nós, em termos culturais, mas mais próxima de nós (2 mil anos) do que dele (3 milênios). A aceleração da vida é tal que não nos resta muito tempo para salvar a humanidade. Isso requer muita ciência, mas sobretudo uma decisiva vontade política. Será preciso, já, persuadirmos nossos próximos de uma mudança radical nos valores. Isso parece difícil, haja vista o avanço de uma extrema direita predatória no mundo. Vivemos, desde 2008, uma grande regressão e não nos resta muito tempo para retomarmos o caminho que a democracia trilhou entre o final do século XX e o começo do atual. É este o desafio que hoje temos, cientistas e não cientistas. Escrevo isto logo após a morte de uma das maiores lideranças morais de nosso tempo, o Papa Francisco: sua perda causa preocupação, assim como o avanço da extrema-direita no mundo.

Recomendações

- Evitar esforços por uma ética que obviamente manterá o ser humano como quem decide, mas entendendo que, para nossa espécie sobreviver e viver bem, precisará preservar o planeta, do qual a Amazônia é símbolo. Essa ética terá como *telos* a vida, sob todas as suas formas, na Terra. Divulgar essa ética e formar, sobretudo os que decidem e também os mais jovens, para agirem neste sentido.
- Um diálogo intenso com políticos e formadores de opinião, mostrando que o atual rumo do mundo é autodestrutivo, e que devemos substituir o modelo soma-zero de competições por um que seja ganha-ganha, baseada na cooperação – dos humanos entre si, mas também com a natureza.
- Promover ações educativas junto às crianças e adolescentes, mas sem esquecer a educação continuada para as outras faixas etárias, a fim de criar uma consciência e induzir ações que estimulem a cooperação, combatendo a pobreza e implicando respeito ao meio ambiente.
- Realizar os ODS como prioridade primeira. Obrigar as administrações públicas, do nível local ao supranacional, a considerarem-nos em todas as suas políticas. Adotá-los como referencial de validade para as políticas de Estado. Avaliar as iniciativas do setor privado em função deles, penalizando tributária e até penalmente, se for o caso, quando contrariarem tais Objetivos.

- Fortalecer as entidades internacionais, como as Nações Unidas (mas não só). Incumbi-las da missão ética e vital de constituir uma sociedade fraterna, única base sustentável para a sobrevivência de nossa espécie. Empoderá-las.
- Realizar acordos internacionais para um sistema tributário justo e eficiente, que elimine paraísos fiscais que sirvam para encobrir práticas nocivas social e ambientalmente.

Membros Institucionais da ABC

Diamante



Ouro



Prata



Bronze



Apoio



ISBN: 978-65-987542-3-5

CBT



9 786598 754235



ACADEMIA
BRASILEIRA
DE CIÊNCIAS

MCMXVI

Academia Brasileira de Ciências
Rua Anfilóbio de Carvalho, 29 - 3º Andar
20030-060 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil
Tel: +55 (21) 2391-7802
www.abc.org.br