

Capítulo 20 Em Síntese

Causas e impactos das mudanças nos ecossistemas aquáticos



Pescadores vendem peixes frescos em suas canoas, no centro de Manaus (Foto: Bruno Kelly/Amazônia Real)



THE AMAZON WE WANT
Science Panel for the Amazon

Causas e impactos das mudanças nos ecossistemas aquáticos

Philip M. Fearnside^a, Erika Berenguer^{b,c}, Dolores Armenteras^d, Fabrice Duponchelle^e, Federico Mosquera Guerra^f, Clinton N. Jenkins^g, Paulette Bynoe^h, Roosevelt García-Villacortaⁱ, Marcia Macedo^j, Adalberto Luis Val^a, Vera Maria Fonseca de Almeida-Val^a, Nathália Nascimento^k

Mensagens Principais & Recomendações

- 1) Ao longo das últimas quatro décadas, especialmente nas últimas duas, ecossistemas aquáticos da Amazônia têm se tornado menos conectados e mais poluídos. É preciso atenção urgente para criar áreas protegidas aquáticas, pois a maioria das áreas protegidas existentes foram criadas para salvaguardar os ecossistemas terrestres e geralmente fazem muito pouco para conservar a biota aquática.
- 2) Antes dos massivos impactos da construção de barragens nas últimas quatro décadas, a super exploração de espécies de plantas e animais era a principal causa da destruição dos ecossistemas aquáticos na Bacia Amazônica. Essa destruição continua a progredir. Os recursos aquáticos exigem esquemas cooperativos para gerenciar seu uso de forma sustentável, incluindo a exclusão de embarcações de pesca de fora e fiscalização das restrições sobre a exploração não sustentável de colheitas.
- 3) As hidrelétricas impedem a migração dos peixes e o transporte de água, sedimentos e nutrientes associados. Também alteram os fluxos dos rios e os níveis de oxigênio. Barragens com capacidade instalada acima de 10 MW não devem mais ser construídas. “Micro” barragens, criadas para fornecer energia a uma única cidade ou vilarejo, podem ser construídas com licenças ambientais

- adequadas e abordagens baseadas em riscos. Nesse meio tempo, a política energética deve priorizar a conservação de eletricidade, interromper as exportações de produtos com uso intensivo de eletricidade e redirecionar investimentos para a geração de energia eólica e solar.
- 4) É preciso preservar bacias selecionadas em toda a Amazônia para pesquisas, monitoramento de longo prazo e proteção da diversidade genética e de espécies. Essas bacias podem também manter comunidades ecológicas para fins de iniciativas de recuperação.

Resumo Os ecossistemas aquáticos da Amazônia estão sendo destruídos e a expectativa é que as ameaças à sua integridade continuem a crescer em número e intensidade. Apresentamos neste estudo, alguns dos principais impactos sobre os ecossistemas aquáticos provocados por projetos de infraestrutura e práticas predatórias e ilegais.

Introdução o rio Amazonas descarrega 6,6 trilhões m³ de água doce nos oceanos, juntamente com 600-800 milhões de toneladas de sedimentos suspensos¹. A biodiversidade aquática da Amazônia é significativa em termos globais. Até agora, 2.406 espécies de peixes já foram descritas² (veja também o Capítulo 3), embora o número real esteja provavelmente acima de 3.000 espécies³. Os rios e correntes

^a Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Brazil, pmfearn@inpa.gov.br

^b Environmental Change Institute, School of Geography and the Environment, University of Oxford, OX1 3QY, Oxford, UK

^c Lancaster Environment Centre, Lancaster University, LA1 4YQ, Lancaster, UK

^d Ecología del Paisaje y Modelación de Ecosistemas ECOLMOD, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Colombia

^e Institut de Recherche pour le Développement, 44 bd de Dunkerque, Immeuble Le Sextant CS 90009, F-13572 Marseille cedex 02, France.

^f Fundación Omacha, Carrera 20 N° 133 – 32, barrio La Calleja, Bogotá DC, Colombia.

^g Florida International University, 11200 SW 8th Street, Miami FL 33199, USA.

^h University of Guyana, Turkeyen Campus, Greater Georgetown, Guyana

ⁱ Centro Peruano para la Biodiversidad y Conservación (CPBC), Iquitos, Perú; Department of Ecology and Evolutionary Biology, Cornell University, E145 Corson Hall, Ithaca NY 14853, USA

^j Woodwell Climate Research Center, Falmouth, USA / Amazon Environmental Research Center (IPAM), Brasilia, Brazil.

^k Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Instituto de Estudos Climáticos, Vitória, Espírito Santo, Brazil.

da Amazônia também conectam partes da vasta Bacia Amazônica, essencial para a migração de peixes e o fluxo de sedimentos. Entretanto, esses sistemas são frágeis e qualquer impacto originado em algum local pode ser sentido a milhares de quilômetros. Relacionamos a seguir, algumas das principais ameaças enfrentadas pelos ecossistemas aquáticos amazônicos, juntamente com seus impactos mais significativos. Por toda a Amazônia, há atualmente 307 hidrelétricas existentes e outras 239 em projeto, indo desde aquelas com capacidade instalada de 1 MW, até algumas das maiores do mundo, como Belo Monte e Tucuruí (Figura 20.1).

Impactos das barragens

Comunidades de peixes As hidrelétricas têm impacto negativo sobre as comunidades de peixes, tanto acima quanto abaixo do reservatório, devido à desconexão e perda do habitat e a sérias mudanças nos regimes hidrológicos das florestas inundadas⁵⁻⁸. A conversão de um trecho do rio, de água em movimento (ambiente lótico) para água parada ou com pouco movimento (ambiente lêntico), elimina ou reduz significativamente muitas espécies, poucas das quais são adaptadas ao novo ambiente⁹. As comunidades de peixes tornam-se estruturalmente e funcionalmente diferentes em relação às linhas de base anteriores às barragens¹⁰⁻¹². As barragens na Amazônia e suas passagens ineficazes aos peixes têm prejudicado seriamente as rotas de migração de muitas espécies, como o “bagre gigante” do rio Madeira (*Brachyplatystoma* spp.).

Mamíferos aquáticos, répteis e insetos As barragens podem fragmentar populações de golfinhos, anfíbios e répteis. Isso prejudica o fluxo genético e pode resultar em populações pequenas e vulneráveis^{13,14}. Várias barragens em projeto são especialmente ameaçadoras a tartarugas¹⁵, pois as praias onde as tartarugas depositam seus ovos são geralmente inundadas pelos reservatórios ou quando as barragens alteram os fluxos à jusante¹⁶. Os impactos das barragens sobre os insetos aquáticos variam; as espécies que dependem de água em rápido movimento diminuem em quantidade, enquanto outras espécies que se reproduzem em água parada ou de

pouco movimento, como mosquitos, podem passar por explosões populacionais^{17,18}.

Emissões de gases de efeito estufa As barragens na Amazônia contribuem para a emissão de GEE de duas maneiras: (1) metano é produzido em reservatórios estratificados e (2) CO₂ é liberado a partir de árvores apodrecidas destruídas pelas inundações¹⁹⁻²². O grande volume de biomassa inicial perdido quando um reservatório é inundado (que é especialmente alto em florestas tropicais), além da presença de carbono lábil facilmente oxidado no solo, faz com que os reservatórios novos emitam mais gases do que os antigos²³. Adicionalmente, as árvores próximas às bordas dos reservatórios sofrem estresse de lençóis freáticos mais altos, causando maior mortalidade e emissões de CO₂²⁴⁻²⁶.

Alteração nos fluxos de sedimentos As barragens reduzem os fluxos de sedimentos ao aprisionarem os sedimentos nos reservatórios²⁷ e alterarem o ciclo hidrológico natural. À jusante das barragens, a reduzida carga de sedimentos resulta em abrasão, ou maior erosão das bases e margens de rios^{28,29}. A redução de sedimentos também priva os rios dos nutrientes à jusante. No rio Madeira, o transporte de sedimentos à jusante das barragens Santo Antônio e Jirau diminuiu em 20% comparado com as quantidades anteriores às barragens³⁰, o que pode ter contribuído com os declínios acentuados observados nas pescas à jusante das barragens^{29,31}. Os sedimentos, incluindo a matéria orgânica suspensa, formam a base das cadeias alimentares aquáticas na Baixa Amazônia³²; dessa forma, as reduções nas cargas de sedimentos abaixo das barragens nos Andes terão provavelmente consequências de longo alcance para os peixes ao longo de toda a extensão dos rios Madeira e Amazonas³³.

Alteração na vazão de água As barragens podem impactar quatro parâmetros hidrológicos à jusante: 1) a frequência e 2) duração dos níveis hídricos alto e baixo (pulsos de cheia), e 3) a taxa e 4) a frequência de mudanças nos níveis hídricos³⁴. Outros impactos sobre a vazão de água ocorrem quando o reservatório está enchendo, de forma que trechos do rio à

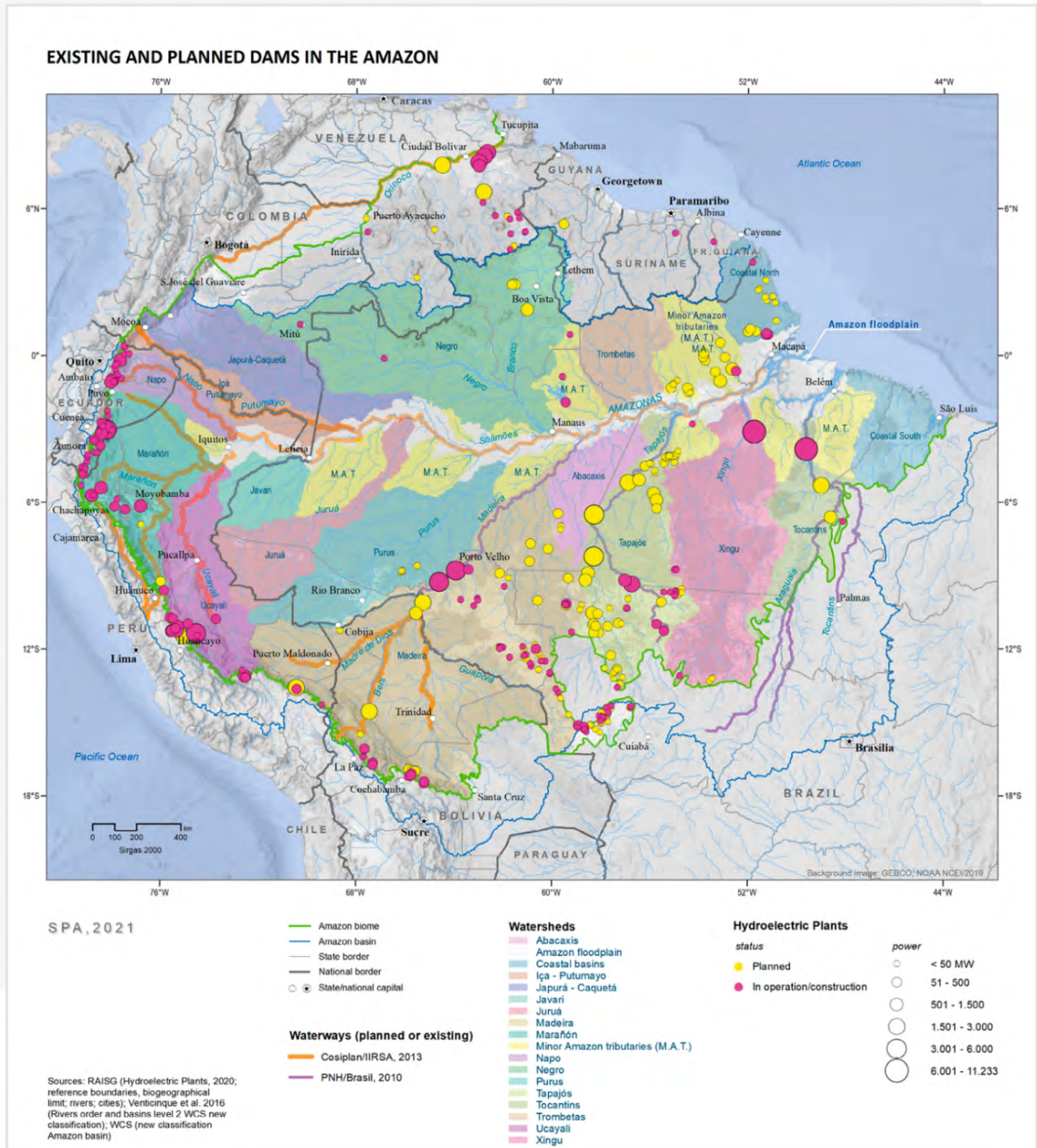


Figura 20.1 Usinas hidrelétricas existentes e planejadas na Amazônia⁴.

jusante secam durante todo ou parte do período de enchimento. A usina hidrelétrica de Belo Monte ilustra esse efeito: o fluxo de água é significativamente reduzido em um trecho de 130 km conhecido como a “grande curva do rio Xingu” (Volta Grande do Rio Xingu), à medida que 80% do fluxo anual do rio é desviado. As modificações no regime hidrológico impactam diretamente a biodiversidade aquática. O comportamento dos peixes, especialmente a migração e reprodução, estão em sintonia com as mudanças nos fluxos, e sinais falsos causados pelas barragens podem induzir os peixes a se comportarem de forma a prejudicar o sucesso de sua reprodução³⁵⁻⁴⁰.

Estradas As barragens não são o único tipo de infraestrutura que degrada, ou até mesmo destrói, os sistemas aquáticos na Amazônia: as estradas também são uma grande ameaça a esses ecossistemas. As estradas na Amazônia são, muitas vezes, construídas sem passagens adequadas para a água, tais como galerias de escoamento ou pontes, fragmentando pequenos afluentes e correntes sazonais. As estradas podem agir como barragens e seu impacto sobre correntes sazonais é particularmente forte, causando acúmulo de água, bloqueando a passagem da vida aquática e interrompendo a conectividade das correntes.

Canais navegáveis e desvios fluviais A manutenção de canais navegáveis pode ter sérios impactos sobre os ecossistemas aquáticos. Muitas espécies endêmicas de peixes poderiam ser extintas se os habitats rochosos forem removidos por explosões de dinamite para permitir que embarcações passem sem impedimento⁴¹. Além de remover afloramentos rochosos, o desassoreamento de canais fluviais aprofunda zonas rasas e remove detritos de madeira⁴², destruindo ricos habitats para a fauna de peixes endêmicos específicos⁴³. É improvável que essas populações se recuperem. Na Amazônia peruana, a recente contratação de ~2.700 km da Hidrovia Amazônica^{44,45} poderia alterar significativamente a morfologia do canal fluvial, impactando a diversidade e produtividade dos peixes, fatores dos quais as economias locais dependem.

Peixes criados para consumo humano A maior parte das espécies de peixes de alto valor, como o pirarucu gigante ou paiche (*Arapaima spp.*) E o grande tambaqui ou gamitana, que se alimenta de frutas, são considerados vítimas de pesca excessiva em suas faixas naturais⁴⁶⁻⁴⁹. O mesmo se aplica a várias das espécies menores de Characiformes, como o *Prochilodus nigricans* e o *Psectrogaster spp.*⁵⁰⁻⁵². Os peixes migratórios são os mais sujeitos ao risco da pesca excessiva, representando mais de 90% dos pescados desembarcados aterragens na Bacia Amazônica e gerando uma receita acima de USD400 milhões⁵³.

Peixes ornamentais O comércio de peixes de aquário é uma indústria multimilionária crescente, cotada em dólar^{54,55}. Peixes são um dos bichos de estimação mais populares no mundo⁵⁶, e a criação de espécimes silvestres para comércio internacional é uma séria questão de conservação^{54,57,58}. A Bacia Amazônica representa ~10% do comércio global de peixes ornamentais de água doce, com o Brasil, Colômbia e o Peru como maiores exportadores; em 2007, o valor declarado de exportações (grandemente subestimado) desses países totalizou aproximadamente USD17 milhões⁵⁹. Entretanto, os efeitos do comércio de peixes ornamentais sobre as populações na natureza não são muito estudados. Dados informais sugerem algumas populações entrando em colapso ou declinando em alguns locais no rio Negro, como o acará-disco (*Symphysodon discus*)⁶⁰ e o tetra cardinal (*Paracheirodon axelrodi*)^{54,61}. Na Amazônia peruana, essa exploração levou à redução de mais de 50% das espécies ornamentais em locais de estudo, em termos de abundância, diversidade e biomassa⁶².

Espécies invasoras Na Amazônia, espécies invasoras são utilizadas para criação, cultivo de espécies ornamentais e pesca recreativa⁶³. Os peixes introduzidos em lagos e reservatórios são, muitas vezes, espécies predatórias (*Cichla spp.*, *Astronotus spp.* ou *Pygocentrus nattereri*), que se alimentam e reduzem a abundância de espécies nativas, com consequências em todo o ecossistema, incluindo perda de habitat, interrupção da duração de vida de peixes nativos (muitas espécies invasoras comem as ovas dos

peixes nativos) e concorrência por alimentos, levando a alterações na composição das espécies e em toda a rede alimentar⁶⁴⁻⁶⁸. Nas águas dos Andes na Bolívia e Peru, a introdução da truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) predatória resultou na eliminação local ou grande redução da *Astroblepus spp.* nativa^{69,70}.

Desmatamento A perda florestal geralmente resulta em maior escoamento e descarga de precipitação pluviométrica. Por exemplo, o desmatamento induziu um aumento de 25% na descarga em grandes sistemas fluviais, como os rios Tocantins e Araguaia, com pouca mudança na precipitação⁷¹. Maior escoamento de água e cargas de sedimentos altera os processos geomorfológicos e bioquímicos à jusante, com consequências para a erosão do solo e a produtividade biológica dos ecossistemas aquáticos⁷¹⁻⁷⁵. A perda de cobertura florestal também resulta em exposição solar direta, reduzindo o esfriamento evapotranspirativo e o fluxo de calor sensível sobre a terra, levando a mudanças na temperatura, volume de oxigênio e conteúdo químico dos cursos de água, com grande impacto sobre a fauna aquática⁷⁶. Por exemplo, o aumento na temperatura da água e o volume reduzido de oxigênio durante o período de seca pode ser mortal para peixes como os tetra cardinais^{77,78}.

Poluição

Agrotóxicos Defensivos agrícolas, herbicidas, fármacos e outros medicamentos são liberados no meio ambiente e seu tempo de residência é indeterminado. Metais em transição e outros poluentes presentes em agrotóxicos podem afetar as espécies de peixes locais de formas diferentes, dependendo das características de sua respiração, reprodução, posição trófica e metabólica^{79,80}. Evidências indicam que o herbicida glifosato (Roundup®) e o pesticida malatião causam dano metabólico e celular em peixes expostos a concentrações 50% abaixo de suas concentrações letais (LC₅₀)^{81,82}. A presença de defensivos agrícolas também tem sido detectada em golfinhos^{83,84} e tartarugas no rio Amazonas⁸⁵. A expansão da produção de soja no sul da Amazônia é particularmente preocupante aos ecossistemas aquáticos

devido ao alto uso de herbicidas, incluindo o glifosato. Experiências com peixes em laboratório indicam que esse e outros herbicidas causam dano ao fígado e brânquias, bem como quebra de DNA e maior risco de câncer^{81,82,86}.

Derramamento de óleo e resíduos tóxicos A contaminação de óleo bruto e resíduos tóxicos não tratados de petróleo e gás é bem conhecida nas partes do Amazonas do Equador⁸⁷ e Peru^{88,89}. Na Amazônia equatorial, entre 1972 e 1992, 73 bilhões de litros de óleo bruto foram liberados no meio ambiente, perto de duas vezes o volume derramado pelo petroleiro Exxon Valdez no Alasca^{90,91}. Ao longo desse período, 43 bilhões de litros de água produzida (salmoura de campo petrolífero) também foi liberada, contendo sais que prejudicaram as migrações dos peixes⁹¹. O óleo é tóxico para os peixes⁹², e a contaminação associada ao óleo pode ter impactos de longo alcance sobre as comunidades aquáticas amazônicas, pois pode se dispersar em grandes distâncias, afetando todo a rede à jusante^{89,93}. Toxinas associadas a hidrocarbonos têm sido encontradas em correntes no Equador em concentrações acima de 500 vezes as permitidas pelas regulamentações europeias⁹⁰.

Exploração de minérios A mineração de ouro é particularmente predominante no Brasil e Peru e, segundo projeções, a escala e os impactos dessa atividade deverá aumentar substancialmente se não forem tomadas medidas urgentes (Figura 20.2). Estima-se que o mercúrio derramado por essa atividade na Amazônia brasileira já ultrapassou 200.000 toneladas desde o fim do século 19⁹⁴. Estima-se também que a mineração de ouro é responsável por 64% do mercúrio derramado nos sistemas aquáticos da Amazônia⁹⁵⁻⁹⁸. O restante vem de depósitos naturais que sofrem erosão causada por desmatamento (33%) e deposição atmosférica, com as fontes originais sendo o desmatamento e as queimadas (3%)^{97,99}. Na escala da bacia, a dinâmica do mercúrio envolve processos físicos abióticos (isto é, transporte de sedimentos à jusante). O mercúrio na forma elementar pode ser convertido em metil-mercúrio tóxico por bactérias específicas em ambientes

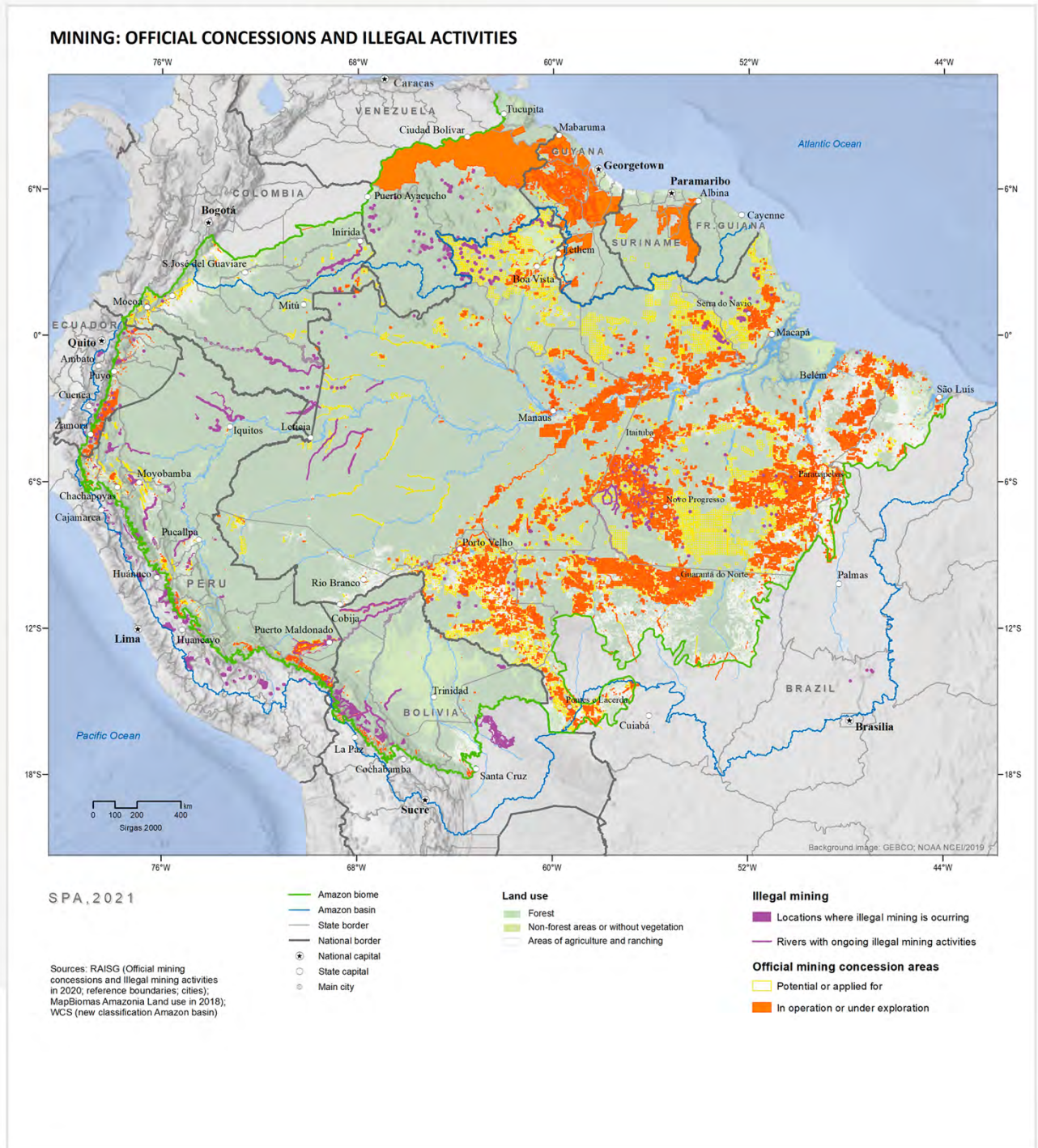


Figura 20.2 Concessões oficiais para mineração e atividades ilegais⁴.

anóxicos, como aqueles criados no fundo de reservatórios em lagos e rios naturais termalmente estratificados.

O metil-mercúrio (MeHg) penetra nas redes alimentares aquáticas e realiza bioacumulação com níveis tróficos^{100,101}. A natureza é exposta ao MeHg através de regimes alimentares¹⁰¹⁻¹⁰³. A bioacumulação de mercúrio causa um grande aumento de concentrações nos principais predadores, como bagres, jacarés-açus, lontras e golfinhos¹⁰⁴⁻¹¹⁰. Por meio do consumo de peixes, os humanos também realizam a bioacumulação de mercúrio; as populações na Amazônia apresentam alguns dos mais altos índices de mercúrio no mundo encontrados no cabelo humano, bem como outras questões de saúde associadas¹¹¹.

Esgoto urbano e resíduos plásticos O esgoto urbano tem grande impacto sobre os invertebrados aquáticos, reduzindo tanto sua abundância quanto a riqueza das espécies¹¹²⁻¹¹⁶. Uma enorme quantidade de plástico é descartada nos rios e correntes da Amazônia e micro plásticos já foram detectados nos sedimentos dos rios¹¹⁷ e na areia das costas no litoral próximas à foz do Amazonas¹¹⁸. Também já foram encontrados micro plásticos em espécies de peixes em todos os níveis tróficos, incluindo em 13 espécies no rio Xingu¹¹⁹, e 14 do estuário amazônico¹²⁰. Micro plásticos e nano plásticos afetam os ecossistemas aquáticos e também servem como transportadores de poluentes orgânicos persistentes (POPs)¹²¹ e produtos químicos que podem provocar estresse hepático nos peixes¹²².

Interações entre causas O texto acima discute as causas da degradação de forma separada; entretanto, várias delas apresentam uma grande correlação e muitas vezes interagem, e os organismos aquáticos terão que lidar com as combinações dessas causas. Por exemplo, as hidrelétricas induzem a construção de estradas que, por sua vez, levam ao aumento no desmatamento e à agricultura^{33,44,123-125}. Como já explicado, interrupções no ciclo hidrológico pelas barragens isolam grandes partes das planícies inundadas, que serão provavelmente exploradas

para agricultura, aumentando ainda mais o desmatamento³³.

De forma semelhante, é provável que os canais nas sub-bacias do Tapajós estimulem um maior desmatamento diretamente através do aumento da produção de soja no Mato Grosso. O escoamento das plantações de soja leva fertilizantes, herbicidas, defensivos agrícolas e sedimentos da erosão do solo aos ecossistemas aquáticos. Esses canais reduzem os custos de transporte e estimulam a transição da pecuária para a soja, resultando em uma mudança indireta no uso da terra, à medida que os criadores de gado vendem suas terras para produtores de soja e desmatam novas partes da Amazônia para pastagem^{126,127}.

Um impacto dos canais é que eles justificam as hidrelétricas, independentemente da gravidade de seu impacto negativo. Sem um conjunto completo de barragens e bloqueios em um rio, as embarcações não conseguem passar. Elas dependem dos reservatórios para eliminar corredeiras e cachoeiras. A Bacia do Tocantins/Araguaia¹²⁸ e do Tapajós¹²⁶ servem como exemplos. No caso do rio Madeira, um plano para 4.000 km de canais navegáveis na parte amazônica da Bolívia, com o objetivo de transporte de soja, foi usado como argumento para apoiar a viabilidade das usinas hidrelétricas Santo Antônio e Jirau no Brasil^{129,130}.

A exploração de novas fontes de energia, como petróleo, geralmente exige a construção de estradas, daí, conseqüentemente, temos o desmatamento^{44,131}. A exploração de petróleo também tem fortes efeitos combinados com as barragens, devastando a biota aquática onde esses fatores se cruzam¹³². Na Amazônia peruana, a estrada interoceânica tem impactado os rios e ecossistemas terrestres associados; essa estrada promoveu a mudança do uso da terra devido à expansão agrícola no norte, ao mesmo tempo em que contribuía para a extração de ouro nos rios Malinowsky e Inambari^{133,134}.

Conclusões Os ecossistemas aquáticos da Amazônia são impactados pelas ações humanas, especialmente a infraestrutura, como barragens, estradas e exploração de petróleo e gás. Esses impactos têm se intensificado por meio do aumento no desmatamento, poluição por agrotóxicos, resíduos industriais e urbanos e atividade de mineração ilegal. Os efeitos sinérgicos desses impactos podem comprometer o funcionamento dos ecossistemas, levando a desequilíbrios nas cadeias alimentares, redução da abundância das espécies e sua extinção; isso, por sua vez, tem importantes efeitos sobre os estilos de vida e a saúde humana.

Referências

- Filizola, N. & Guyot, J. L. Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia. *Rev. Bras. Geociências* 41, 566–576 (2011).
- Jézéquel, C. *et al.* Freshwater fish diversity hotspots for conservation priorities in the Amazon Basin. *Conserv. Biol.* 34, 956–965 (2020).
- Val, A. L. Fishes of the Amazon: diversity and beyond. *An. Acad. Bras. Cienc.* 91, (2019).
- RAISG. Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information. <https://www.amazoniasocioambiental.org/en/> (2020).
- Ribeiro, M. & Petreire, M. Viagem de reconhecimento ao rio Tocantins e baixo rio Araguaia entre 20/11/88 e 8/12/88. *Consult. Rep. to UNDP/ELETRONORTE, Bras. (DF)(mimeographed report)* (1988).
- Ribeiro, M. C. L. de B., Petreire Junior, M. & Juras, A. A. Ecological integrity and fisheries ecology of the Araguaia–Tocantins River Basin, Brazil. *Regul. Rivers Res. Manag.* 11, 325–350 (1995).
- Santos, G. M. dos. Impactos da hidrelétrica Samuel sobre as comunidades de peixes do rio Jamari (Rondônia, Brasil). *Vol. 25, Número 3-4, Pags. 247-280* (1995).
- Santos, R. E., Pinto-Coelho, R. M., Fonseca, R., Simões, N. R. & Zanchi, F. B. The decline of fisheries on the Madeira River, Brazil: The high cost of the hydroelectric dams in the Amazon Basin. *Fish. Manag. Ecol.* 25, 380–391 (2018).
- Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Santos, N. C. L., Ortega, J. C. G. & Pelicice, F. M. Fish assemblages in Neotropical reservoirs: Colonization patterns, impacts and management. *Fish. Res.* 173, 26–36 (2016).
- Araújo, E. S. *et al.* Changes in distance decay relationships after river regulation: similarity among fish assemblages in a large Amazonian river. *Ecol. Freshw. Fish* 22, 543–552 (2013).
- Arantes, C. C., Fitzgerald, D. B., Hoenighaus, D. J. & Winemiller, K. O. Impacts of hydroelectric dams on fishes and fisheries in tropical rivers through the lens of functional traits. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 37, 28–40 (2019).
- Arantes, C. C. *et al.* Floodplain land cover affects biomass distribution of fish functional diversity in the Amazon River. *Sci. Rep.* 9, 16684 (2019).
- Gravena, W., Farias, I. P., da Silva, M. N. F., da Silva, V. M. F. & Hrbek, T. Looking to the past and the future: were the Madeira River rapids a geographical barrier to the boto (Cetacea: Iniidae)? *Conserv. Genet.* 15, 619–629 (2014).
- Paschoalini, M. *et al.* On the brink of isolation: Population estimates of the Araguaian river dolphin in a human-impacted region in Brazil. *PLoS One* 15, e0231224 (2020).
- Gonzales, J. Amazon’s giant South American river turtle holding its own, but risks abound. *Mongabay Series: Amazon Conservation* (2019).
- Norris, D., Michalski, F. & Gibbs, J. P. Beyond harm’s reach? Submersion of river turtle nesting areas and implications for restoration actions after Amazon hydropower development. *PeerJ* 6, e4228 (2018).
- Tavares de Lima, I. B., Novo, E. M. L. M., Ballester, M. V. R. & Ometto, J. P. Role of the macrophyte community in CH₄ production and emission in the tropical reservoir of Tucuruí, Pará State, Brazil. *SIL Proceedings, 1922-2010* 27, 1437–1440 (2000).
- Fearnside, P. M. Environmental impacts of Brazil’s Tucuruí Dam: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environ. Manage.* 27, 377–396 (2001).
- Fearnside, P. M. & Postal, C. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazonia as sources of greenhouse gases. *Environ. Conserv.* 22, 7–19 (1995).
- Fearnside, P. M. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil’s Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water. Air. Soil Pollut.* 133, 69–96 (2002).
- Fearnside, P. M. Brazil’s Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. *Environ. Manage.* 35, 1–19 (2005).
- Abril, G., Parize, M., Pérez, M. A. P. & Filizola, N. Wood decomposition in Amazonian hydropower reservoirs: An additional source of greenhouse gases. *J. South Am. Earth Sci.* 44, 104–107 (2013).
- Barros, N. *et al.* Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude. *Nat. Geosci.* 4, 593–596 (2011).
- Fearnside, P. M. As hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como fontes de gases de efeito estufa. *Novos Cad. NAEA* 12, (2009).
- dos Santos Junior, U. M., de Carvalho Gonçalves, J. F. & Fearnside, P. M. Measuring the impact of flooding on Amazonian trees: photosynthetic response models for ten species flooded by hydroelectric dams. *Trees* 27, 193–210 (2013).
- dos Santos Junior, U. M., Gonçalves, J. F. de C., Strasser, R. J. & Fearnside, P. M. Flooding of tropical forests in central Amazonia: what do the effects on the photosynthetic apparatus of trees tell us about species suitability for reforestation in extreme environments created by hydroelectric dams? *Acta Physiol. Plant.* 37, 1–17 (2015).
- Fearnside, P. M. Decision Making on Amazon Dams: Politics Trumps Uncertainty in the Madeira River Sediments Controversy. *Water Altern.* 6, 313–325 (2013).
- Almeida, R. *et al.* Hydropeaking Operations of Two Run-of-River Mega-Dams Alter Downstream Hydrology of the Largest Amazon Tributary. in *Frontiers in Environmental Science*

- (2020).
29. Santos, R. E., Pinto-Coelho, R. M., Drumond, M. A., Fonseca, R. & Zanchi, F. B. Damming Amazon Rivers: Environmental impacts of hydroelectric dams on Brazil's Madeira River according to local fishers' perception. *Ambio* 49, 1612–1628 (2020).
 30. Latrubesse, E. M. *et al.* Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature* 546, 363–369 (2017).
 31. Lima, M. A. L., Kaplan, D. A. & Rodrigues da Costa Doria, C. Hydrological controls of fisheries production in a major Amazonian tributary. *Ecohydrology* 10, e1899 (2017).
 32. Arantes, C. C., Winemiller, K. O., Petrere, M. & Freitas, C. E. C. Spatial variation in aquatic food webs in the Amazon River floodplain. *Freshw. Sci.* 38, 213–228 (2019).
 33. Forsberg, B. R. *et al.* The potential impact of new Andean dams on Amazon fluvial ecosystems. *PLoS One* 12, e0182254 (2017).
 34. Timpe, K. & Kaplan, D. The changing hydrology of a dammed Amazon. *Sci. Adv.* 3, e1700611 (2017).
 35. Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Veríssimo, S. & K. Okada, E. Flood regime, dam regulation and fish in the Upper Paraná River: effects on assemblage attributes, reproduction and recruitment. in *Reviews in Fish Biology and Fisheries* vol. 14 11–19 (2004).
 36. Bailly, D., Agostinho, A. A. & Suzuki, H. I. Influence of the flood regime on the reproduction of fish species with different reproductive strategies in the Cuiabá River, Upper Pantanal, Brazil. *River Res. Appl.* 24, 1218–1229 (2008).
 37. Carvalho Freitas, C. E. *et al.* The Potential Impacts of Global Climatic Changes and Dams on Amazonian Fish and Their Fisheries. in *New Advances and Contributions to Fish Biology* (2012).
 38. Vasconcelos, L. P., Alves, D. C. & Gomes, L. C. Fish reproductive guilds downstream of dams. *J. Fish Biol.* 85, 1489–1506 (2014).
 39. Nunes, D. M. F. *et al.* Influence of a large dam and importance of an undammed tributary on the reproductive ecology of the threatened fish matrinxã *Brycon orthotaenia* Günther, 1864 (Characiformes: Bryconidae) in southeastern Brazil. *Neotrop. Ichthyol.* 13, 317–324 (2015).
 40. McIntyre, P. B. *et al.* Conservation of migratory fishes in freshwater ecosystems. in *Conservation of Freshwater Fishes* (eds. Closs, G. P. & Olden, J. D.) 324–360 (Cambridge University Press: Cambridge, 2016).
 41. Zuanon, J. Ictiofauna. in *Uma avaliação crítica do Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) do Aproveitamento Hidrelétrico São Luiz do Tapajós*. (eds. Nitta, R. & Naka, L. N.) 67–74 (Greenpeace Brasil, 2015).
 42. Castello, L. *et al.* The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. *Conserv. Lett.* 6, 217–229 (2013).
 43. Hrbek, T., Meliciano, N. V., Zuanon, J. & Farias, I. P. Remarkable Geographic Structuring of Rheophilic Fishes of the Lower Araguaia River. *Frontiers in Genetics* vol. 9 295 (2018).
 44. Anderson, E. P. *et al.* Fragmentation of Andes-to-Amazon connectivity by hydropower dams. *Sci. Adv.* 4, eaao1642 (2018).
 45. Bodmer, R. *et al.* Modelamiento de las consecuencias previsibles del dragado de los principales ríos amazónicos sobre la fauna silvestre y la gente de los bosques inundados de Loreto, Perú. *Folia Amaz.* 27, 247–258 (2018).
 46. Isaac, V. J. & Ruffino, M. L. Population dynamics of tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Lower Amazon, Brazil. *Fish. Manag. Ecol.* 3, 315–333 (1996).
 47. Castello, L. & Stewart, D. J. Assessing CITES non-detriment findings procedures for Arapaima in Brazil. *J. Appl. Ichthyol.* 26, 49–56 (2010).
 48. Campos, C. P., Costa Sousa, R. G., Catarino, M. F., de Albuquerque Costa, G. & Freitas, C. E. C. Population dynamics and stock assessment of *Colossoma macropomum* caught in the Manacapuru Lake system (Amazon Basin, Brazil). *Fish. Manag. Ecol.* 22, 400–406 (2015).
 49. Castello, L., Arantes, C. C., Mcgrath, D. G., Stewart, D. J. & Sousa, F. S. De. Understanding fishing-induced extinctions in the Amazon. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 25, 587–598 (2015).
 50. Catarino, M. F., Campos, C. P., Garcez, R. & Freitas, C. E. de C. Population dynamics of *Prochilodus nigricans* caught in Manacapuru Lake (Amazon basin, Brazil). *Bol. do Inst. Pesca* 40, 589–595 (2014).
 51. García-Vásquez, A., Vargas, G., Sánchez, H., Tello, S. & Duponchelle, F. Periodic life history strategy of *Psectrogaster rutiloides*, Kner 1858, in the Iquitos region, Peruvian Amazon. *J. Appl. Ichthyol.* 31, 31–39 (2015).
 52. Bonilla-Castillo, C. A., Córdoba, E. A., Gómez, G. & Duponchelle, F. Population dynamics of *Prochilodus nigricans* (Characiformes: Prochilodontidae) in the Putumayo River. *Neotrop. Ichthyol.* 16, e170139 (2018).
 53. Duponchelle, F. *et al.* Conservation of migratory fishes in the Amazon basin. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.*
 54. Andrews, C. The ornamental fish trade and fish conservation. *J. Fish Biol.* 37, 53–59 (1990).
 55. Stevens, C. H., Croft, D. P., Paull, G. C. & Tyler, C. R. Stress and welfare in ornamental fishes: what can be learned from aquaculture? *J. Fish Biol.* 91, 409–428 (2017).
 56. Olivier, K. The ornamental fish market. *Globefish Res. Program.* 67, 99p (2001).
 57. Chao, N. L. & Prang, G. Project Piaba -- towards a sustainable ornamental fishery in the Amazon. *Aquarium Sci. Conserv.* 1, 105–111 (1997).
 58. Moreau, M.-A. & Coomes, O. T. Aquarium fish exploitation in western Amazonia: conservation issues in Peru. *Environ. Conserv.* 34, 12–22 (2007).
 59. Monticini, P. *The Ornamental Fish Trade Production and Commerce of Ornamental Fish: technical-managerial and legislative aspects*. www.globefish.org (2010).
 60. Crampton, W. G. R. The impact of the ornamental fish trade on the discus *Symphysodon aequifasciatus*: A case study from the floodplain forests of Estação Ecológica Mamirauá. *Adv. Econ. Bot.* 13, 29–44 (1999).
 61. Chao, N. L. & Prada-Pedrerros, S. Diversity and habitat of ornamental fishes in the Rio Negro, Brazil: exploitation and conservation issues. in *Proceedings of World Fisheries Congress, Theme* vol. 3 241–261 (1995).

62. Gerstner, C. L., Ortega, H., Sanchez, H. & Graham, D. L. Effects of the freshwater aquarium trade on wild fish populations in differentially-fished areas of the Peruvian Amazon. *J. Fish Biol.* 68, 862–875 (2006).
63. Junior, D. P. L. *et al.* Aquaculture expansion in Brazilian freshwaters against the Aichi Biodiversity Targets. *Ambio* 47, 427–440 (2018).
64. Zaret, T. M. & Paine, R. T. Species Introduction in a Tropical Lake. *Science* 182, 449 LP – 455 (1973).
65. Latini, A. O. & Petrere Jr., M. Reduction of a native fish fauna by alien species: an example from Brazilian freshwater tropical lakes. *Fish. Manag. Ecol.* 11, 71–79 (2004).
66. Pelicice, F. M. & Agostinho, A. A. Fish fauna destruction after the introduction of a non-native predator (Cichla kelberi) in a Neotropical reservoir. *Biol. Invasions* 11, 1789–1801 (2009).
67. Fragoso-Moura, E. N., Oporto, L. T., Maia-Barbosa, P. M. & Barbosa, F. A. R. Loss of biodiversity in a conservation unit of the Brazilian Atlantic Forest: the effect of introducing non-native fish species. *Brazilian J. Biol.* 76, 18–27 (2016).
68. Pelicice, F. M., Latini, J. D. & Agostinho, A. A. Fish fauna disassembly after the introduction of a voracious predator: main drivers and the role of the invader’s demography. *Hydrobiologia* 746, 271–283 (2015).
69. Ortega, H., Guerra, H. & Ramirez, R. The introduction of nonnative fishes into freshwater systems of Peru. in *Ecological and genetic implications of aquaculture activities* 247–278 (Springer, 2007).
70. Van Damme, P. A., Carvajal-Vallejos, F. M., Pouilly, M., Perez, T. & Carpio, J. M. Amenazas para los peces y las pesquerías de la Amazonia Boliviana. in *Los peces y delfines de la Amazonia boliviana: hábitats, potencialidades y amenazas. Editorial Inia, Cochabamba, Bolivia* (eds. Damme, P. A. Van, F. Carvajal-Vallejos & Carpio, J. M.) 327–365 (Editorial INIA, 2011).
71. Coe, M. T., Costa, M. H. & Soares-Filho, B. S. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River – Land surface processes and atmospheric feedbacks. *J. Hydrol.* 369, 165–174 (2009).
72. Neill, C., Deegan, L. A., Thomas, S. M. & Cerri, C. C. Deforestation for pasture alters nitrogen and phosphorus in small Amazonian streams. *Ecol. Appl.* 11, 1817–1828 (2001).
73. Deegan, L. A. *et al.* Amazon deforestation alters small stream structure, nitrogen biogeochemistry and connectivity to larger rivers. *Biogeochemistry* 105, 53–74 (2011).
74. Iñiguez-Armijos, C., Leiva, A., Frede, H., Hampel, H. & Breuer, L. Deforestation and Benthic Indicators: How Much Vegetation Cover Is Needed to Sustain Healthy Andean Streams? *PLoS One* 9, e105869 (2014).
75. Ilha, P., Schiesari, L., Yanagawa, F. I., Jankowski, K. & Navas, C. A. Deforestation and stream warming affect body size of Amazonian fishes. *PLoS One* 13, e0196560 (2018).
76. da Silva Monteiro Júnior, C., Couceiro, S. R. M., Hamada, N. & Juen, L. Effect of vegetation removal for road building on richness and composition of Odonata communities in Amazonia, Brazil. *Int. J. Odonatol.* 16, 135–144 (2013).
77. Winemiller, K. O., Marrero, C. & Taphorn, D. C. Perturbaciones causadas por el hombre a las poblaciones de peces de los llanos y del piedemonte andino de Venezuela. *Biollania* 12, 13–48 (1996).
78. Gonçalves, L. M. F., Silva, M. de N. P. da, Val, A. L. & Almeida-Val, V. M. F. de. Differential survivorship of congeneric ornamental fishes under forecasted climate changes are related to anaerobic potential. *Genet. Mol. Biol.* 41, 107–118 (2018).
79. Duarte, R. M., Menezes, A. C. L., da Silveira Rodrigues, L., de Almeida-Val, V. M. F. & Val, A. L. Copper sensitivity of wild ornamental fish of the Amazon. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 72, 693–698 (2009).
80. Braz-Mota, S. *et al.* Exposure to waterborne copper and high temperature induces the formation of reactive oxygen species and causes mortality in the Amazonian fish *Hoplosternum littorale*. *Hydrobiologia* 789, 157–166 (2017).
81. Silva, G. S. da, Matos, L. V. de, Freitas, J. O. da S., Campos, D. F. de & Almeida e Val, V. M. F. de. Gene expression, genotoxicity, and physiological responses in an Amazonian fish, *Colossoma macropomum* (CUVIER 1818), exposed to Roundup® and subsequent acute hypoxia. *Comp. Biochem. Physiol. Part C Toxicol. Pharmacol.* 222, 49–58 (2019).
82. Silva de Souza, S. *et al.* Severe damages caused by Malathion exposure in *Colossoma macropomum*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 205, 111340 (2020).
83. Lailson-Brito Jr, J. *et al.* Dolphins as indicators of micropollutant trophic flow in Amazon Basin. *Oecologia Bras.* 12, 12 (2008).
84. Torres, J. P. M. *et al.* Persistent toxic substances in the Brazilian Amazon: contamination of man and the environment. *J. Braz. Chem. Soc.* 20, 1175–1179 (2009).
85. Teófilo Pignati, M. *et al.* Levels of organochlorine pesticides in Amazon turtle (*Podocnemis unifilis*) in the Xingu River, Brazil. *J. Environ. Sci. Heal. Part B* 53, 810–816 (2018).
86. Braz-Mota, S., Sadauskas-Henrique, H., Duarte, R. M., Val, A. L. & Almeida-Val, V. M. F. Roundup® exposure promotes gills and liver impairments, DNA damage and inhibition of brain cholinergic activity in the Amazon teleost fish *Colossoma macropomum*. *Chemosphere* 135, 53–60 (2015).
87. Jochnick, C., Norman, R. & Zaidi, S. Rights violations in the Ecuadorian Amazon: the human consequences of oil development. *Health Hum. Rights* 82–100 (1994).
88. Orta Martínez, M. *et al.* Impacts of petroleum activities for the Achuar people of the Peruvian Amazon: summary of existing evidence and research gaps. *Environ. Res. Lett.* 2, 45006 (2007).
89. Yusta-García, R., Orta-Martínez, M., Mayor, P., González-Crespo, C. & Rosell-Melé, A. Water contamination from oil extraction activities in Northern Peruvian Amazonian rivers. *Environ. Pollut.* 225, 370–380 (2017).
90. San Sebastián, M. & Karin Hurtig, A. Oil exploitation in the Amazon basin of Ecuador: a public health emergency. *Rev. Panam. salud pública* 15, 205–211 (2004).
91. Kimerling, J. Indigenous peoples and the oil frontier in Amazonia: The case of Ecuador, ChevronTexaco, and Aguida v. Texaco. *NYUJ Int’l. L. Pol.* 38, 413 (2005).
92. Sadauskas-Henrique, H., Braz-Mota, S., Duarte, R. M. & de Almeida-Val, V. M. F. Influence of the natural Rio Negro wa-

- ter on the toxicological effects of a crude oil and its chemical dispersion to the Amazonian fish *Colossoma macropomum*. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23, 19764–19775 (2016).
93. Moquet, J.-S. *et al.* Cl and Na Fluxes in an Andean Foreland Basin of the Peruvian Amazon: An Anthropogenic Impact Evidence. *Aquat. Geochemistry* 20, 613–637 (2014).
 94. Bahia, M. de O. *et al.* Environmental biomonitoring using cytogenetic endpoints in a population exposed to mercury in the Brazilian Amazon. *Environ. Mol. Mutagen.* 44, 346–349 (2004).
 95. Artaxo, P. *et al.* Large scale mercury and trace element measurements in the Amazon basin. *Atmos. Environ.* 34, 4085–4096 (2000).
 96. de Cássia Guimarães Mesquita, R. Management of advanced regeneration in secondary forests of the Brazilian Amazon. *For. Ecol. Manage.* 130, 131–140 (2000).
 97. Roulet, M. *et al.* Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. *Water. Air. Soil Pollut.* 112, 297–313 (1999).
 98. Roulet, M., Lucotte, M., Guimarães, J. R. D. & Rheault, I. Methylmercury in water, seston, and epiphyton of an Amazonian river and its floodplain, Tapajós River, Brazil. *Sci. Total Environ.* 261, 43–59 (2000).
 99. Souza-Araujo, J., Giarrizzo, T., Lima, M. O. & Souza, M. B. G. Mercury and methyl mercury in fishes from Bacaja River (Brazilian Amazon): evidence for bioaccumulation and biomagnification. *J. Fish Biol.* 89, 249–263 (2016).
 100. Morel, F. M. M., Kraepiel, A. M. L. & Amyot, M. The Chemical Cycle and Bioaccumulation Of Mercury. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 29, 543–566 (1998).
 101. Ullrich, S. M., Tanton, T. W. & Abdrashitova, S. A. Mercury in the Aquatic Environment: A Review of Factors Affecting Methylation. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 31, 241–293 (2001).
 102. Sarica, J. *et al.* Mercury transfer from fish carcasses to scavengers in boreal lakes: the use of stable isotopes of mercury. *Environ. Pollut.* 134, 13–22 (2005).
 103. de Moura, J. F. *et al.* Mercury Status of the Amazon Continental Shelf: Guiana Dolphins (*Sotalia guianensis*, Van Bénédén 1864) as a Bioindicator. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 89, 412–418 (2012).
 104. Markert, B. Definitions and principles for bioindication and biomonitoring of trace metals in the environment. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 21, 77–82 (2007).
 105. Molina, C. I. *et al.* Transfer of mercury and methylmercury along macroinvertebrate food chains in a floodplain lake of the Beni River, Bolivian Amazonia. *Sci. Total Environ.* 408, 3382–3391 (2010).
 106. Bossart, G. D. Marine mammals as sentinel species for oceans and human health. *Vet. Pathol.* 48, 676–690 (2011).
 107. Salinas, C., Cubillos, J. C., Gómez, R., Trujillo, F. & Caballero, S. “Pig in a poke (gato por liebre)”: the “mota” (*Calophrys macropterus*) fishery, molecular evidence of commercialization in Colombia and toxicological analyses. *Ecohealth* 11, 197–206 (2014).
 108. Nuñez-Avellaneda, M., Agudelo Córdoba, E. & Gil-Manrique, B. D. Un análisis descriptivo de la presencia de mercurio en agua, sedimento y peces de interés socioeconómico en la Amazonia Colombiana. *Rev. Colomb. Amaz.* 7, 149–159 (2014).
 109. Mosquera-Guerra, F., Trujillo, F., Díaz-Granados, M. C. & Mantilla-Meluk, H. Conservación de delfines de río (*Inia geoffrensis* y *Sotalia fluviatilis*) en los ecosistemas acuáticos de la Amazonia y Orinoquia en Colombia. *Momentos Cienc.* 12, 77–86 (2015).
 110. Mosquera-Guerra, F. *et al.* Mercury in populations of River Dolphins of the Amazon and Orinoco Basins. *Ecohealth* 16, 743–758 (2019).
 111. Passos, C. J. S. & Mergler, D. Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: a review. *Cad. Saude Publica* 24, s503–s520 (2008).
 112. Couceiro, S. R. M., Forsberg, B. R., Hamada, N. & Ferreira, R. L. M. Effects of an oil spill and discharge of domestic sewage on the insect fauna of Cururu stream, Manaus, AM, Brazil. *Brazilian J. Biol.* 66, 35–44 (2006).
 113. Couceiro, S. R. M., Hamada, N., Ferreira, R. L. M., Forsberg, B. R. & da Silva, J. O. Domestic sewage and oil spills in streams: effects on edaphic invertebrates in flooded forest, Manaus, Amazonas, Brazil. *Water. Air. Soil Pollut.* 180, 249–259 (2007).
 114. Couceiro, S. R. M., Hamada, N., Luz, S. L. B., Forsberg, B. R. & Pimentel, T. P. Deforestation and sewage effects on aquatic macroinvertebrates in urban streams in Manaus, Amazonas, Brazil. *Hydrobiologia* 575, 271–284 (2007).
 115. Couceiro, S. R. M., Hamada, N., Forsberg, B. R. & Padovesi-Fonseca, C. Trophic structure of macroinvertebrates in Amazonian streams impacted by anthropogenic siltation. *Austral Ecol.* 36, 628–637 (2011).
 116. Martins, R. T., Couceiro, S. R. M., Melo, A. S., Moreira, M. P. & Hamada, N. Effects of urbanization on stream benthic invertebrate communities in Central Amazon. *Ecol. Indic.* 73, 480–491 (2017).
 117. Gerolin, C. R. *et al.* Microplastics in sediments from Amazon rivers, Brazil. *Sci. Total Environ.* 749, 141604 (2020).
 118. Martinelli Filho, J. E. & Monteiro, R. C. P. Widespread microplastics distribution at an Amazon macrotidal sandy beach. *Mar. Pollut. Bull.* 145, 219–223 (2019).
 119. Andrade, M. C. *et al.* First account of plastic pollution impacting freshwater fishes in the Amazon: Ingestion of plastic debris by piranhas and other serrasalmids with diverse feeding habits. *Environ. Pollut.* 244, 766–773 (2019).
 120. Pegado, T. de S. e S. *et al.* First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary. *Mar. Pollut. Bull.* 133, 814–821 (2018).
 121. Besseling, E., Redondo-Hasselerharm, P., Foekema, E. M. & Koelmans, A. A. Quantifying ecological risks of aquatic micro- and nanoplastic. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 49, 32–80 (2019).
 122. Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T. & Teh, S. J. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Sci. Rep.* 3, 3263 (2013).
 123. Finer, M. & Jenkins, C. N. Proliferation of hydroelectric dams in the Andean Amazon and implications for Andes-Amazon connectivity. *PLoS One* 7, e35126 (2012).
 124. Chen, G., Powers, R. P., de Carvalho, L. M. T. & Mora, B.

- Spatiotemporal patterns of tropical deforestation and forest degradation in response to the operation of the Tucuruí hydroelectric dam in the Amazon basin. *Appl. Geogr.* 63, 1–8 (2015).
125. Lees, A. C., Peres, C. A., Fearnside, P. M., Schneider, M. & Zuanon, J. A. S. Hydropower and the future of Amazonian biodiversity. *Biodivers. Conserv.* 25, 451–466 (2016).
 126. Fearnside, P. M. Amazon dams and waterways: Brazil's Tapajós Basin plans. *Ambio* 44, 426–439 (2015).
 127. Arima, E. Y., Richards, P., Walker, R. & Caldas, M. M. Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon. *Environ. Res. Lett.* 6, 24010 (2011).
 128. Fearnside, P. M. Avanço Brasil: Environmental and social consequences of Brazil's planned infrastructure in Amazonia. *Environ. Manage.* 30, 735–747 (2002).
 129. Fearnside, P. Brazil's Madeira River dams: A setback for environmental policy in Amazonian development. *Water Altern.* 7, 235–255 (2014).
 130. Fearnside, P. M. Impacts of Brazil's Madeira River Dams: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environ. Sci. Policy* 38, 164–172 (2014).
 131. Fearnside, P. Brazil's Bem Querer dam: An impending Amazon disaster (commentary). *Mongabay Series: Amazon Conservation* (2020).
 132. Anderson, E. P. *et al.* Energy development reveals blind spots for ecosystem conservation in the Amazon Basin. *Front. Ecol. Environ.* 17, 521–529 (2019).
 133. Sánchez-Cuervo, A. M. *et al.* Twenty years of land cover change in the southeastern Peruvian Amazon: implications for biodiversity conservation. *Reg. Environ. Chang.* 20, 8 (2020).
 134. Finer, M., Villa, L. & Mamani, N. Gold mining continues to ravage the Peruvian Amazon. *Amazon Conservation* (2018).