

Energia limpa? A insustentabilidade da hidroeletricidade frente a impactos socioecológicos e violações de direitos



Silvia Sayuri Mandai*



Renata Utsunomiya*



Evandro Mateus Moretto**

*Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo IEA USP e Grupo de Pesquisa em Planejamento e Gestão Ambiental (PLANGEA), **Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo EACH USP e Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo IEA USP e Grupo de Pesquisa em Planejamento e Gestão Ambiental (PLANGEA).

Palavras-chave: Hidrelétricas, Impactos ambientais, Injustiça energética; Planejamento energético, Sistemas socioecológicos.

Resumo: A hidroeletricidade volta a ganhar destaque no cenário da transição energética pelo discurso de ser uma fonte de energia limpa. Contudo, este trabalho critica esse discurso ao apresentar evidências de impactos socioecológicos que ameaçam a resiliência de sistemas socioecológicos e violam direitos de Povos Indígenas e comunidades tradicionais. A análise também discute a falta ou baixa participação pública no licenciamento ambiental. Por fim, o trabalho defende que a expansão energética brasileira não pode depender de novas hidrelétricas na Amazônia.

O uso de combustíveis fósseis emite grandes concentrações de gases de efeito estufa, que têm contribuído consideravelmente para a poluição atmosférica e mudanças climáticas. Neste contexto, a hidroeletricidade ressurge como uma alternativa de fonte renovável e limpa, além de ser considerada uma fonte energética estável e de baixo custo econômico, o que levou à sua expansão global (Zarfl et al., 2015). Em 2023, a hidroeletricidade contribuiu com 15,3% da geração de energia elétrica no mundo - terceira fonte predominante (IEA, 2023). No Brasil, cerca de 65% de sua geração elétrica vem de fontes hídricas, principalmente de empreendimentos localizados na Amazônia. Apesar da hidroeletricidade ser considerada uma fonte limpa de energia, inclusive em reuniões internacionais sobre sustentabilidade e mudanças climáticas, inúmeros trabalhos evidenciam os impactos socioecológicos das Usinas Hidrelétricas (UHEs) (Moretto et al., 2012). Considerando esta controvérsia, o presente trabalho critica a narrativa da hidroeletricidade como fonte de energia limpa, apresentando externalidades que refutam esta retórica. O trabalho foca em estudos realizados na região amazônica, mas também apresenta evidências de outras regiões.

Historicamente, os impactos do trecho a montante geralmente causam grande repercussão, pois ocorrem na fase de construção e envolvem a supressão de vegetação e o alagamento de extensas áreas florestais e de assentamentos humanos para a formação de reservatórios (Cochrane et al., 2017). Também há emissão de gases de efeito estufa, considerando que a formação de ambiente lótico do reservatório favorece a decomposição de matéria orgânica a partir de processos anaeróbios com produção de gás metano. Esta possibilidade é agravada quando a supressão da vegetação na área de formação do reservatório não ocorre de forma correta, resultando em uma grande quantidade de matéria orgânica na forma de árvores submersas (“paliteiros”), como ocorre na UHE Balbina (Fearnside, 2015). O alagamento permanente também provoca a perda de ecossistemas sazonais, como os bancos de areia (Pezzuti et al., 2019). Além disso, há o deslocamento forçado que tem sido marcado pelo fracasso de alternativas a essas populações, com a perda de relações socioecológicas e redução de resiliência (Tilt; Gerkey, 2009). No rio Xingu, as populações que viviam à beira do rio e deslocadas para reassentamentos urbanos experienciaram aumento da insegurança alimentar (Johansen et al., 2024). No rio Madeira, cerca de 3 mil famílias foram deslocadas e ficaram fisicamente distantes do rio e das várzeas (i.e., áreas alagáveis e férteis), o que impactou seus modos de vida e segurança alimentar (Roquetti et al., 2024).

Antes e durante o período de construção das UHEs ocorrem mudanças criadas pela expectativa da obra e migração de grande contingente populacional para trabalhar na construção civil. Esse boom populacional tem sobrecarregado os serviços públicos e aumentado o custo de vida e índices de violência. Como exemplo, em 2015, no final da construção da UHE Belo Monte, a cidade de Altamira foi a mais violenta do país. A dinâmica demográfica e econômica regional também resultou no avanço do desmatamento em áreas não protegidas (Guerrero et al., 2020) e protegidas (Mandai et al., 2024). Mesmo antes da fase de construção, para a aprovação de hidrelétricas e outros projetos de infraestrutura, ocorreram eventos de redução, recategorização e extinção de unidades de conservação na Amazônia (Golden-Kroner et al., 2019). Por exemplo, para a aprovação das UHEs Jirau e Santo Antônio, houve a redução de quatro Unidades de Conservação (Mandai et al., 2024). Além disso, a oferta de empregos para a construção leva a uma falta de mão-de-obra para a agricultura familiar, o que favorece grandes latifúndios, intensifica a desigualdade no meio rural e aumenta a demanda por alimentos de fora da região (Calvi et al., 2020).

A regulação hídrica pelas UHEs interfere no pulso natural de inundação dos rios, na perda de florestas (Assahira et al., 2017) e na dinâmica sedimentológica, reduzindo a fertilidade das várzeas a jusante das barragens (Lobo, 2024). Especialmente na Amazônia, os ciclos dos pulsos de inundação expressam certa ritmicidade, em que o ritmo do rio é a base das interações no sistema socioecológico e determina as fases das múltiplas atividades das populações locais ao longo do ciclo anual (Jackson et al., 2022). Assim, a operação das hidrelétricas torna essa ritmicidade dissonante e imprevisível, o que rompe as atividades humanas que eram síncronas com a variação sazonal dos rios, como a pesca e agricultura nas planícies aluviais no rio Madeira (Mandai, no prelo) e os ciclos da vegetação aluvial, como a frutificação que ocorre durante a inundação e provê alimentação para a fauna aquática no rio Xingu (Utsunomiya et al., 2024). Além disso, essa assincronicidade pode resultar no alagamento e morte de ninhos de quelônios (Pezzuti et al., 2019).

Nas últimas décadas, muitas UHEs são do sistema a fio d’água, como é o caso das UHEs Belo Monte, Jirau e Santo Antônio. Porém, este novo modelo também tem gerado novos

efeitos, como maior imprevisibilidade no controle da vazão e riscos de ocorrer rápida elevação do nível do rio de acordo com a demanda de energia (Almeida et al., 2019), como as enxurradas na Volta Grande do Xingu (MPF, 2025). Essa imprevisibilidade agrava a degradação dos ecossistemas e aumenta os riscos de perdas materiais e de integridade física das populações a jusante de barragens. Ademais, é muito provável que as UHEs a fio d'água, estejam gerando mais incertezas para a geração de energia elétrica frente às mudanças climáticas. Por exemplo, a Amazônia experienciou cinco eventos de seca extrema no século XXI.

Ao fragmentar os rios, as UHEs impactam principalmente a reprodução e alimentação de peixes migratórios longitudinais, por exemplo, os grandes bagres, que chegam a percorrer mais de 2000 km (Vasconcelos et al., 2020). No rio Madeira, os grupos de peixes grandes e com ciclo de migração longo foram os que mais tiveram redução no estoque pesqueiro, o que resultou em perdas monetárias (Arantes et al., 2023) e fragilizou a subsistência dos ribeirinhos (Mandai, no prelo). Além disso, as passagens artificiais de peixes das UHEs não têm sido efetivas para os bagres (Hahn et al., 2022).

Não é possível afirmar que uma fonte de energia é limpa e sustentável se ela historicamente viola direitos territoriais de autodeterminação e direitos à consulta livre, prévia e informada, como preconiza a Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho, da qual o Brasil é signatário. Os impactos de UHEs sobre Povos Indígenas e comunidades tradicionais (PICTs) têm sido negligenciados, com a ausência de consulta ou baixa participação na tomada de decisões e nos processos de licenciamento ambiental e gestão dos impactos socioecológicos (Athayde et al., 2019; Utsunomiya, 2024). Há uma recorrente marginalização e invisibilidade de PICTs enquanto sujeitos de direitos, piorando um cenário de injustiça ambiental por projetos de infraestrutura (Castro-Diaz et al., 2024). As UHEs também podem causar prejuízos espirituais e às espécies de importância cultural, ou ainda levar à percepção de colapso de mundo, pois os PICTs possuem visões ecocêntricas e policêntricas em relação a valores da natureza que refletem nas percepções sobre os efeitos de hidrelétricas nos ecossistemas (Jackson et al., 2022).

Com base nos impactos socioecológicos evidenciados pelas hidrelétricas, além de dificuldades de mitigação dos impactos, critica-se a consideração da hidroeletricidade como fonte de energia limpa, assim como questionado por Bermann (2007), Moran et al. (2018) e Utsunomiya (2024). O modelo das grandes hidrelétricas deve ser repensado, ainda mais em áreas de sensibilidade ambiental e com diversidade sociocultural, sobretudo na Amazônia (Athayde et al., 2019). As escolhas das fontes energéticas precisam ter base no contexto dos sistemas socioecológicos e bioculturais locais, considerando as relações de interdependência de uma rede ampla de seres humanos e não humanos (Mandai et al., 2023). Também é necessário um caminho

de interação entre conhecimento científico e ecológico local/indígena via pesquisas interculturais e transdisciplinares para avaliação, gestão e monitoramento de impactos de hidrelétricas (e.g., Juruna et al., 2025). Por exemplo, o comportamento de peixes e sinais na vegetação (Utsunomiya et al., 2024) podem auxiliar na compreensão da resiliência dos sistemas socioecológicos. As Avaliações de Impactos para fins de planejamento e para licenciamento ambiental de projetos precisam seguir boas práticas e respeitar o direito à consulta livre, prévia e informada de PICTs, compreendendo a consulta como processo contínuo na avaliação e gestão de impactos socioecológicos. O planejamento hidrelétrico também precisa incorporar fatores, como a fragmentação dos rios (Flecker et al., 2022), modelagem de secas com as mudanças climáticas (Van Vliet et al., 2016) e os efeitos que já ocorrem nos territórios para evitar e minimizar impactos cumulativos.

Por fim, é fundamental considerar que as bacias inventariadas que ainda guardam potencialidades para grandes empreendimentos hidrelétricos são justamente aquelas onde remanescem sistemas socioecológicos diversos e únicos (Moretto et al., 2012). Assim, o futuro da expansão da geração de energia elétrica no país precisa ser independente de novas UHEs e deve observar outras fontes renováveis de geração e tecnologias de armazenamento que de fato induzem um processo de transição energética justa e ambientalmente segura.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Códigos de Financiamento 001 e 88887.716072/2022-00 -, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processos FAPESP #19/17113-9 e #20/07372-4) e da Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo (#4323 – Edital FUSP Multidisciplinar sobre Mudanças Climáticas).

Referências

- ALMEIDA, R. M.; HAMILTON, S. K.; ROSI, E. J.; BARROS, N.; DORIA, C. R. C.; FLECKER, A. S.; FLEISCHMANN, A. S.; REISINGER, A. J.; ROLAND, F. Hydropeaking Operations of Two Run-of-River Mega-Dams Alter Downstream Hydrology of the Largest Amazon Tributary. *Frontiers in Environmental Science*, vol. 8, no. July, p. 1–11, 2020. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00120>.
- ARANTES, C. C.; LAUFER, J.; MAYER, A.; MORAN, E. F.; SANT' ANNA, I. R. A.; DUTKA-GIANELLI, J.; LOPEZ, M. C.; DORIA, C. R. C. Large-scale hydropower impacts and adaptation strategies on rural communities in the Amazonian floodplain of the Madeira River. *Journal of Environmental Management*, vol. 336, no. December 2022, p. 117240, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117240>.
- ASSAHIRA, C.; PIEDADE, M. T. F.; TRUMBORE, S. E.; WITTMANN, F.; CINTRA, B. B. L.; BATISTA, E. S.; RESENDE, A. F. de; SCHÖNGART, J. Tree mortality of a flood-adapted species in response of hydrographic changes caused by an Amazonian river dam. *Forest Ecology and Management*, vol. 396, p. 113–123, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.04.016>.
- ATHAYDE, S.; DUARTE, C. G.; GALLARDO, A. L. C. F.; MORETTO, E. M.; SANGOI, L. A.; DIBO, A. P. A.; SIQUEIRA-GAY, J.; SÁNCHEZ, L. E. Improving policies and instruments to address cumulative impacts of small hydropower in the Amazon. *Energy Policy*, vol. 132, no. May, p. 265–271, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.05.003>.
- BERMANN, C. Impasses e controvérsias da hidreletricidade. *Estudos Avancados*, vol. 21, no. 59, p. 139–153, 2007. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142007000100011>.
- CALVI, M. F.; MORAN, E. F.; SILVA, R. F. B. da; BATISTELLA, M. The construction of the Belo Monte dam in the Brazilian Amazon and its consequences on regional rural labor. *Land Use Policy*, vol. 90, p. 104327, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104327>.
- CASTRO-DIAZ, L.; LOPEZ, M. C.; MOORE, S.; RADONIC, L.; HODBOD, J.; MORAN, E. Multidimensional and multitemporal energy injustices: Exploring the downstream impacts of the Belo Monte hydropower dam in the Amazon. *Energy Research and Social Science*, vol. 113, no. May, p. 103568, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103568>.
- COCHRANE, S. M. V.; MATRICARDI, E. A. T.; NUMATA, I.; LEFEBVRE, P. A. Landsat-based analysis of mega dam flooding impacts in the Amazon compared to associated environmental impact assessments: Upper Madeira River example 2006–2015. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, vol. 7, no. April, p. 1–8, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2017.04.005>.
- FEARNSIDE, P. M. Hidrelétricas na Amazônia: Impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras. Editora do INPA, Manaus, 2015.
- FLECKER, A. S. et al. Reducing adverse impacts of Amazon hydropower expansion. *Science*, v. 375, n. 6582, p. 753–760, 2022.
- GOLDEN KRONER, R. E.; QIN, S.; COOK, C. N.; KRITHIVASAN, R.; PACK, S. M.; BONILLA, O. D.; CORT-KANSINALLY, K. A.; COUTINHO, B.; FENG, M.; GARCIA, M. I. M.; HE, Y.; KENNEDY, C. J.; LEBRETON, C.; LEDEZMA, J. C.; LOVEJOY, T. E.; LUTHER, D. A.; PARMANAND, Y.; RUÍZ-AGUDELO, C. A.; YERENA, E.; ZAMBRANO, V. M.; MASCIA, M. B. The uncertain future of protected lands and waters. *Science*, vol. 364, no. 6443, p. 881–886, 2019. <https://doi.org/10.1126/science.aau5525>.

GUERRERO, J. V. R.; ESCOBAR-SILVA, E. V.; CHAVES, M. E. D.; MATAVELI, G. A. V.; BOURSCHEIDT, V.; OLIVEIRA, G. de; PICOLI, M. C. A.; SHIMABUKURO, Y. E.; MOSCHINI, L. E. Assessing land use and land cover changes in the direct influence zone of the Braço Norte Hydropower Complex, Brazilian Amazonia. *Forests*, vol. 11, no. 9, p. 1–13, 2020. <https://doi.org/10.3390/f11090988>.

HAHN, L.; MARTINS, E. G.; NUNES, L. D.; MACHADO, L. S.; LOPES, T. M.; DA CÂMARA, L. F. Semi-natural fishway efficiency for goliath catfish (*Brachyplatystoma* spp.) in a large dam in the Amazon Basin. *Hydrobiologia*, vol. 849, no. 2, p. 323–338, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04438-0>.

HERRERA-R, G. A.; HEILPERN, S. A.; COUTO, T. B. A.; VICTORIA-LACY, L.; DUPONCHELLE, F.; CORREA, S. B.; FARAH-PÉREZ, A.; LÓPEZ-CASAS, S.; CAÑAS-ALVA, C. M.; DORIA, C. R. C.; ANDERSON, E. P. A synthesis of the diversity of freshwater fish migrations in the Amazon basin. *Fish and Fisheries*, vol. 25, p. 114–133, 2024. <https://doi.org/10.1111/faf.12795>

IEA. International Energy Agency. Electricity generation by source, World, 1990-2022. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>. Data de acesso: 17 de junho de 2025.

JACKSON, S.; ANDERSON, E. P.; PILAND, N. C.; CARRIERE, S.; JAVA, L.; JARDINE, T. D. River rhythmicity: A conceptual means of understanding and leveraging the relational values of rivers. *People and Nature*, vol. 4, no. 4, p. 949–962, 2022. <https://doi.org/10.1002/pan3.10335>.

JOHANSEN, I. C.; CALVI, M. F.; LUZ, V. G.; SEGALL-CORREIA, A. M.; ARANTES, C. C.; ISAAC, V. J.; UTSUNOMIYA, R.; REIS, V. C. e. S.; MORAN, E. F. Poverty–Food Insecurity Nexus in the Post-Construction Context of a Large Hydropower Dam in the Brazilian Amazon. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 21, no. 2, 2024. <https://doi.org/10.3390/ijerph21020155>.

JURUNA, J. J. P.; ASSUNÇÃO, A. M.; SAMPAIO, A.; BARBOSA, O.; BEZERRA, H.; JACINTO, J.; JURUNA, P.; NUNES, J. A.; SOUZA, M.; KLEME, S.; FERREIRA, P. P.; TXAKUI, R.; JURUNA, S.; SOUSA, R.; LIMA, S. R.; QUARESMA, A.; LIMA, S. B.; RITTER, C. D.; CARNEIRO, C. C.; MILENO, E.; PAULA, S. De; ZUQUIM, G.; PALMQUIST, H.; JESUS, J. S. De; MURIEL-CUNHA, J.; SANDRO, M.; MEDEIROS, S. De; LOPES, P. F. M. Socioenvironmental impacts of the Belo Monte hydroelectric power plant as revealed by Indigenous and ribeirinho monitoring. *Conservation Biology*, vol. 39, p. e70043, 2025. <https://doi.org/10.1111/cobi.70043>.

LOBO, G. Uma análise sociológica dos impactos nas várzeas a jusante do Complexo Hidrelétrico Madeira. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade - Núcleo de Ecologia Humana - Universidade Estadual de Campinas, 2024.

MANDAI, S. S.; ALVES, G. P.; OLIVEIRA, L. A.; UTSUNOMIYA, R.; SILVA, L. S. C. Abordagem dos sistemas socioecológicos como lente teórica para pesquisas em Ciência Ambiental. *Revista de Administração e Negócios da Amazônia*, vol. 15, no. 1, p. 71–96, 2023. <https://doi.org/10.18361/2176-8366/rara.v15n1p71-96>.

MANDAI, S. S.; BRANCO, E. A.; MORETTO, E. M.; BARROS, J. D.; ALVES, G. P.; UTSUNOMIYA, R.; ARCOVERDE, G. F. B.; ASSAHIRA, C.; ARANTES, C. C.; LOBO, G. de S.; CALVI, M. F.; DORIA, C. R. da C.; JOHANSEN, I. C.; CARREIRO, G. A.; BONAVIGO, P. H.; FERRONATO, M. L.; REIS, V. C. e. S.; MORAN, E. F. Two decades of clear-cutting threats in the Brazilian Amazonian protected areas around the Jirau, Santo Antônio, and Belo Monte large dams. *Journal of Environmental Management*, vol. 359, no. August 2023, p. 120864, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120864>.

MORAN, E. F.; LOPEZ, M. C.; MOORE, N.; MÜLLER, N.; HYNDMAN, D. W. Sustainable hydropower in the 21st century. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 115, no. 47, p. 11891–11898, 2018. <https://doi.org/10.1073/pnas.1809426115>.

MORETTO, E. M.; GOMES, C. S.; ROQUETTI, D. R.; JORDÃO, C. D. O. Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: A antiga e atual fronteira amazônica. *Ambiente e Sociedade*, vol. 15, no. 3, p. 141–164, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2012000300009>.

MPF – Ministério Público Federal, Procuradoria Geral da República no município de Altamira. NOTA TÉCNICA 01/2025/GABPRM1-TSCS: Apurar a destruição dos ecossistemas e modos de vida da Volta Grande do Xingu decorrentes da operação da UHE Belo Monte. Relatório Técnico, 2025.

PEZZUTI, J. C. B.; VIDAL, M. D.; FÉLIX-SILVA, D.). Impactos da construção de Usinas Hidrelétricas sobre quelônios aquáticos amazônicos: um olhar sobre o complexo hidrelétrico do Tapajós. In: ALARCON, D.F.; MILLIKAN, B.; TORRES, M. Ocekadi: hidrelétricas, conflitos socioambientais e resistência na Bacia do Tapajós. Brasília, DF: International Rivers Brasil. Santarém, PA: Programa de Antropologia e Arqueologia da Universidade Federal do Oeste do Pará, 2019.

ROQUETTI, D. R.; ATHAYDE, S.; SILVA-LUGO, J.; MORETTO, E. M. Amazon communities displaced by hydroelectric dams: Implications for environmental changes and households livelihood. *Global Environmental Change*, vol. 89, no. August, p. 102933, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2024.102933>.

TILT, B.; GERKEY, D. Dams and population displacement on China's Upper Mekong River: Implications for social capital and social-ecological resilience. *Global Environmental Change*, vol. 36, p. 153–162, 2016. <https://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.11.008>.

UTSUNOMIYA, Renata. Povos Indígenas e Hidrelétricas na Amazônia brasileira: Arara da Volta Grande do Xingu e a barragem de Belo Monte. 2024. 460 f. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

UTSUNOMIYA, R.; BEVERIDGE, C.; LOBO, G.; ASSAHIRA, C.; MORETTO, E.; ATHAYDE, S. Dewatering the Xingu River: hydrological alterations and biocultural connections among the Arara Indigenous People in the Volta Grande region, Brazilian Amazon. *Regional Environmental Change*, vol. 24, no. 2, 2024. <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-024-02230-7>

VAN VLIET, M. T. H.; VAN BEEK, L. P. H.; EISNER, S.; FLÖRKE, M.; WADA, Y.; BIERKENS, M. F. P. Multi-model assessment of global hydropower and cooling water discharge potential under climate change. *Global Environmental Change*, vol. 40, p. 156–170, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.07.007>.

VASCONCELOS, L. P.; ALVES, D. C.; DA CÂMARA, L. F.; HAHN, L. Dams in the Amazon: The importance of maintaining free-flowing tributaries for fish reproduction. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 31, no. 5, p. 1106–1116, 2020. <https://doi.org/10.1002/aqc.3465>.

ZARFL, C.; LUMSDON, A. E.; BERLEKAMP, J.; TYDECKS, L.; TOCKNER, K. A global boom in hydropower dam construction. *Aquatic Sciences*, vol. 77, no. 1, p. 161–170, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00027-014-0377-0>.

