

The text that follows is a REPRINT
O texto que segue é uma SEPARATA

Please cite as:

Favor citar como:

Athayde, Simone; Mason Mathews, Stephanie Bohlman, Walterlina Brasil, Carolina R.C. Doria, Jynessa Dutka-Gianell, Philip M. Fearnside, Bette Loiselle. Elineide E. Marques, Theodore S. Melis, Brent Millikan, Evandro M. Moretto, Anthony Oliver-Smith, Amintas Rossete, Raffaele Vacca, David Kaplan. 2020.

Mapeando pesquisas sobre energia hidráulica e sustentabilidade na Amazônia brasileira: Avanços, lacunas de conhecimento e rumos futuros.

p. 711-765. In: Juliana Laufer, Elineide E. Marques, Simone Athayde, A. Christine Swanson & Ana Daisy A. Zagallo (eds). *Rios, Terras e Culturas: Aprendendo com o Sistema Socioecológico do Tocantins*. Editora Fi, Porto Alegre, RS. 865 p.

ISBN - 978-65-87340-19-7

DOI - 10.22350/9786587340197

Copyright: Amazon Dams Network (ADN) (*Creative Commons 4.0*)

Livro disponível em:

<http://www.editorafi.org>

<https://bit.ly/3fN4IUG>

<https://amazondams.network/e-book-rios-terras-e-culturas-aprendendo-com-o-sistema-socioecologico-do-tocantins/>

Tradução de:

Athayde, Simone; Elineide Marques, Evandro Moretto, Brent Millikan, Stephanie Bohlman, Anthony Oliver-Smith, Philip M. Fearnside, Amintas N. Rossete, Mason Mathews, Bette Loiselle, Raffaele Vacca, Walterlina Brasil, Jynessa Dutka-Gianelli, Theodore Melis, Carolina R. C. Doria & David Kaplan. 2019. Mapping research on hydropower and sustainability in the Brazilian Amazon: Advances, gaps in knowledge and future directions. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 37: 50-69. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.06.004>

Capítulo 6.1

Mapeando pesquisas sobre energia hidráulica e sustentabilidade na Amazônia brasileira: avanços, lacunas de conhecimento e rumos futuros ^{1 2 3}

Simone Athayde ⁴

Mason Mathews ⁵

Stephanie Bohlman ⁶

Walterlina Brasil ⁷

Carolina R. C. Doria ⁸

Jynessa Dutka-Gianelli ⁹

Philip M. Fearnside ¹⁰

Bette Loiselle ¹¹

¹ Esta tradução está disponível na base Research Gate em: https://www.researchgate.net/publication/338162742_Mapeando_pesquisas_sobre_energia_hidraulica_e_sustentabilidade_na_Amazonia_brasileira_avancos_lacunas_de_conhecimento_e_rumos_futuros_Traducao_em_Portugues.

² Athayde et al. Mapping research on hydropower and sustainability in the Brazilian Amazon: advances, gaps in knowledge and future directions. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2019, 37:50–69. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1877343518300769>

³ Tradução realizada por Dayana Catâneo e Walterlina Brasil, pesquisadoras da Rede Internacional de Pesquisa sobre Barragens Amazônicas – RBA/Amazon Dams International Research Network (ADN)/Red Internacional de Investigación sobre Represas Amazónicas (RIRA). www.amazondamsnetwork.org. Citar o artigo original.

⁴ Tropical Conservation and Development Program (TCD), Center for Latin American Studies, University of Florida, Gainesville, USA. HYPERLINK "mailto:simonea@ufl.edu" simonea@ufl.edu

⁵ Natural Hazards Center, University of Colorado Boulder, Boulder, USA.

⁶ School of Forest Resources and Conservation (SFRC), University of Florida.

⁷ Department of Education, Federal University of Rondônia (UNIR), Porto Velho, Brazil.

⁸ Laboratory of Ichthyology and Fisheries, Department of Biology, Federal University of Rondônia (UNIR), Porto Velho, Brazil.

⁹ Department of Community Sustainability, Michigan State University (MSU), USA.

¹⁰ National Institute for Amazonian Research (INPA), Manaus, Brazil.

¹¹ Department of Wildlife Ecology and Conservation (WEC) and Tropical Conservation and Development Program (TCD), Center for Latin American Studies, University of Florida, Gainesville, USA.

*Elineide E. Marques*¹²

*Theodore S. Melis*¹³

*Brent Millikan*¹⁴

*Evandro M. Moretto*¹⁵

*Anthony Oliver-Smith*¹⁶

*Amintas Rossete*¹⁷

*Raffaele Vacca*¹⁸

*David Kaplan*¹⁹

Resumo

Nos últimos vinte anos, várias grandes e pequenas hidrelétricas começaram a transformar a região amazônica, gerando um volume crescente de pesquisas acadêmicas em diversos campos disciplinares e interdisciplinares. Neste artigo, oferecemos uma revisão crítica de pesquisas recentes relacionadas a energia hidráulica e sustentabilidade com foco na Amazônia brasileira. Revisitamos o conceito de sustentabilidade para incluir a contribuição de vários campos do conhecimento e perspectivas para entender, gerenciar e tomar decisões sobre sistemas socioecológicos transformados por barragens. Realizamos uma revisão de literatura no Banco de Dados *Web of Science*, incluindo artigos acadêmicos publicados nos últimos 5 anos (2014–2019), sobre diversos aspectos do planejamento, construção, operação e monitoramento de projetos hidrelétricos na Amazônia brasileira. Apresentamos os resultados de uma análise de redes de co-ocorrência de campos disciplinares em publicações, destacando campos de ligação, desconexões, lacunas e oportunidades para pesquisas interdisciplinares. Finalmente, relatamos avanços recentes no entendimento e gerenciamento de sistemas socioecológicos em bacias hidrográficas da Amazônia, incluindo processos biofísicos; socioeconômicos; e de governança e desenvolvimento vinculados ao planejamento e implementação de barragens hidrelétricas. Esta revisão identifica lacunas de conhecimento e direções futuras de pesquisa, destacando

¹² Graduate Program in Environmental Sciences, (PPGCIamb), Department of Biology, Federal University of Tocantins, Palmas, Brazil.

¹³ U. S. Geological Survey (USGS), Southwest Biological Science Center, Flagstaff, USA.

¹⁴ International Rivers Network, Amazon Program, Brasília, Brazil.

¹⁵ Institute of Energy and Environment, School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, Brazil.

¹⁶ Department of Anthropology, University of Florida, Gainesville, USA.

¹⁷ Faculty of Agrarian Sciences, State University of Mato Grosso (UNEMAT), Nova Xavantina, Brazil.

¹⁸ Department of Sociology and Criminology and Law, University of Florida, Gainesville, USA.

¹⁹ Engineering School of Sustainable Infrastructure and Environment (ESSIE), Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, USA.

oportunidades para uma melhor comunicação entre cientistas, profissionais, tomadores de decisão, povos indígenas e outros atores locais.

1. Introdução

A bacia do Rio Amazonas é o maior sistema de água doce do mundo, proporcionando benefícios críticos para populações locais, sociedades nacionais e a humanidade em geral. Apesar do relativo bom estado de conservação das bacias hidrográficas amazônicas em comparação àquelas dos Estados Unidos ou rios Europeus, estes ecossistemas estão enfrentando transformações rápidas causadas por expansões agrícolas, urbanização, exploração excessiva de espécies animais e vegetais, e desenvolvimento de infraestrutura [1-4].

Além de ser uma região de superlativos globais que hospeda enorme diversidade cultural e biológica, a Amazônia também é uma fonte de energia relativamente inexplorada para países da América Latina dependentes de energia hidráulica [5]. A construção de barragens hidrelétricas (grandes e pequenas) nos afluentes do rio Amazonas no Brasil (ver Fig. 1) avançou nas últimas duas décadas como resultado de planos governamentais de longo prazo voltados para o aumento da segurança energética, crescimento econômico, industrialização e melhoria dos padrões de vida [5-7]. Esses esforços fazem parte da Iniciativa para a Integração da Infraestrutura Regional da América do Sul (IIRSA), que busca transformar a região Amazônica em uma fonte continental de energia hidrelétrica, ligada por um eixo intermodal de estradas, portos, hidrovias e ferrovias [8]. Os efeitos das transformações socioecológicas desencadeadas pelas barragens, como a extração de recursos naturais e o desenvolvimento de infraestrutura associada na Amazônia brasileira, serão magnificados pelas barragens existentes e propostas na região Amazônica-Andina [2,9,10]. O ritmo acelerado do desenvolvimento planejado, a escala espacial dos efeitos e o potencial de perda prejudicial e irreversível da biodiversidade e serviços ambientais de importância global, tornam essa transformação hidrológica sem precedentes em suas

consequências. Prevê-se que barragens de grande escala tenham impactos de alto alcance em bacias hidrográficas, florestas, pessoas, economias e clima, da escala local à global [2,11,12]. As pequenas barragens também estão crescendo desordenadamente e modificando a paisagem amazônica a uma taxa crescente, apoiadas por políticas e regulamentações nacionais e internacionais que geralmente incluem processos de licenciamento ambiental menos rigorosos [13,14].

Apesar do histórico de desenvolvimento de projetos hidrelétricos na Amazônia remeter-se aos início da década de 1970, os efeitos cumulativos, sinérgicos e de longo prazo de barragens em rios, florestas e sistemas sociais ainda são subestimados no planejamento, tomada de decisão e gerenciamento destes empreendimentos [2,15-18]. Lacunas no entendimento devem-se, em grande parte, à falta de pesquisas rigorosas e independentes, à falta de articulação e integração dos dados e conhecimentos existentes, bem como à abordagem fragmentada de estudos que informam avaliações e mitigação de impactos sociais e ambientais. Além disso, o curto período permitido para o monitoramento pré e pós-barragem limita as oportunidades para melhorar o gerenciamento e a possível re-operação da barragem para atender melhor a vários objetivos, esforços que têm sido implementados em outros rios regulados do mundo (por exemplo, o Rio Colorado nos EUA) [19].

A ciência da sustentabilidade concentra-se na geração, articulação e aplicação do conhecimento aos problemas de desenvolvimento, governança e tomada de decisão, da escala local à global [20]. Para atender às necessidades das gerações atuais sem comprometer as das futuras, os tomadores de decisão precisam mapear e considerar a melhor ciência disponível, bem como os conhecimentos existentes. Isso implica incluir múltiplas perspectivas (ou seja, abraçar o pluralismo), opções e escolhas no planejamento e na tomada de decisão, e requer maior integração de diversos tipos de informações e conhecimentos gerados e mantidos por diversos grupos sociais, cientistas, profissionais e outros atores relevantes [21- 23].

Os sistemas socioecológicos (SSEs) podem ser conceituados como sistemas compostos por elementos hierárquicos aninhados: unidades de recursos (naturais) e usuários (humanos), sistemas de recursos (sistemas humano-naturais vinculados), sistemas de governança e configurações sociais, econômicas e políticas mais amplas em diferentes escalas [24]. Definimos amplamente as instituições como sistemas de regras sociais estabelecidas e prevalentes que estruturam as interações sociais [25]. A governança inclui o desenvolvimento e a aplicação de princípios, regras e normas e a capacitação de instituições que orientam as interações públicas e privadas na gestão de sistemas socioecológicos [26]. Gerenciar SSEs de maneira sustentável no contexto de barragens envolve: 1) compreender e modelar as interações dos componentes de um sistema em diferentes escalas espaciais e temporais; e 2) tomar decisões informadas com base na avaliação dessas interações [27,28].

Nos países amazônicos, a avaliação e o monitoramento insuficientes das transformações socioecológicas associadas à energia hidrelétrica são agravados pela participação limitada e/ou inadequada de vários atores sociais e partes interessadas nos estágios de planejamento, construção, monitoramento, mitigação e operação das barragens [29–32]. Inconsistências dentro e entre instituições e políticas governamentais e falta de comunicação entre as partes interessadas (acadêmicos, sociedade civil, governo, empresas privadas, comunidades) tem exacerbado conflitos sociais, aumentado os processos de judicialização e resultado em fraco desempenho dos programas de mitigação e monitoramento [30,33–35]. Em particular, o recente planejamento e construção de represas hidrelétricas nas principais bacias hidrográficas da Amazônia brasileira (Tocantins, Madeira, Xingu e Tapajós) provocaram conflitos violentos, careceram de consulta adequada às comunidades indígenas e tradicionais e foram notórios pela violação de direitos humanos e por escândalos de corrupção [33,36,37].

Neste artigo, revisamos os recentes avanços na pesquisa e na produção de conhecimento sobre o desenvolvimento de hidrelétricas na

Amazônia brasileira nos últimos cinco anos, identificando o progresso em áreas de conhecimento e temas-chave, além de lacunas de conhecimento e direções futuras de pesquisa. O processo de síntese e revisão, incluindo a definição de campos disciplinares chave, temas e questões críticas, foi realizado por meio de análises no banco de dados da Web of Science (WOS), bem como pelo trabalho colaborativo realizado entre membros da Rede Internacional de Pesquisa em Barragens Amazônicas/Amazon Dams International Research Network/Red Internacional de Investigación em Represas Amazónicas (RBA/ADN/RIRA)²⁰. O artigo inicia-se com a apresentação de resultados de análises realizadas a partir do banco de dados WOS focado em publicações sobre barragens brasileiras e amazônicas, mostrando como as pesquisas sobre esse tema desenvolveram-se ao longo do tempo. Em seguida, fornecemos uma análise de rede de co-ocorrência de campos disciplinares para um subconjunto de 290 artigos sobre barragens hidrelétricas da Amazônia brasileira publicados nos últimos 5 anos (2014-2019), destacando os principais campos acadêmicos que estão contribuindo com conhecimento sobre este tópico, como eles estão conectados, quais campos são mais centrais para esse assunto e quais estão atuando como pontes disciplinares. Posteriormente, apresentamos uma análise crítica desse conjunto de publicações, fornecendo informações sobre campos acadêmicos, instituições e fontes de financiamento. Por fim, oferecemos uma revisão crítica dos avanços recentes, lacunas de conhecimento e orientações para pesquisas futuras.

²⁰ A Amazon Dams Network é uma rede internacional transdisciplinar de pesquisadores e várias partes interessadas que estudam o desenvolvimento de hidrelétricas na Amazônia. É nomeado rede de pesquisa de barragens da Amazon nos EUA (ADN); Rede de Pesquisa em Barragens Amazônicas (RBA) no Brasil; e “Red Investigación en Represas Amazónicas” (RIRA) em países de língua espanhola na Amazônia. Mais informações: www.amazondamsnetwork.org

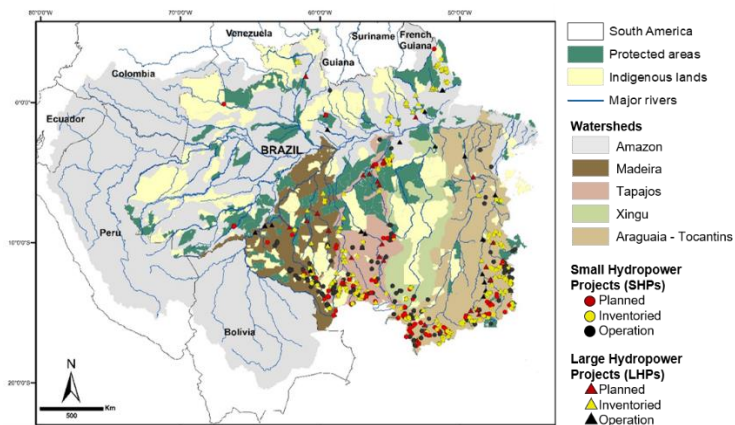


Figura 1. Mapa da bacia Amazônica mostrando pequenos (SHPs) e grandes (LHPs) projetos hidrelétricos planejados, inventariados e em operação nas principais bacias hidrográficas brasileiras. Fontes: ANEEL (2019); Áreas Protegidas, rios brasileiros, bacias hidrográficas: MMA; Terras Indígenas: Funai; Rios da América do Sul: HydroSHEDS.

2. Métodos

Esta revisão é baseada na compilação, síntese e análise de dados e publicações presentes no banco de dados Web of Science²¹ (WOS) (incluindo todos os bancos de dados disponíveis) em diferentes períodos e com diferentes focos geográficos. Inicialmente, realizamos uma pesquisa usando os termos “Brasil” E “barragem e/ou barragens; e/ou hidrelétrica; e/ou energia hidrelétrica” para o período 1968-2019 (50 anos), que produziu 3.866 registros. Em seguida, realizamos uma pesquisa no mesmo período, substituindo “Brasil” por “Amazônia ou amazônica” como palavra-chave, que produziu 847 registros. O primeiro ano a apresentar um registro de publicação sobre esse assunto no Brasil foi 1973.

²¹ O Web of Science (WOS), anteriormente conhecido como Web of Knowledge, é um serviço de indexação de citações científicas baseado em assinatura online que fornece uma pesquisa abrangente por citações. A Coleção Principal do Web of Science consiste em seis bancos de dados online: Índice de Citação Científica; Índice de Citações em Ciências Sociais; Índice de Citação em Artes e Humanidades; Índice de Citações Científica Fontes Emergentes; Índice de Citações de Livros; e Índice de Citações de Procedimentos em Conferências. Bancos de dados adicionais disponíveis nas pesquisas do WOS incluem o Índice de Citação SciELO; o Índice de Citação de BIOSIS; MEDLINE®; CABI; e Registros zoológicos. Página da web: <https://clarivate.com/products/web-of-science/>. Fonte: Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Web_of_Science, acessado em 25 de maio de 2019.

Realizamos uma análise de temas e padrões de co-ocorrência em pesquisas publicadas sobre barragens focadas no desenvolvimento de hidrelétricas na Amazônia brasileira. Análises de padrões de co-autoria e co-ocorrência em artigos de periódicos tem sido usadas para medir o crescimento da ciência da equipe [38], estudar a evolução dos campos científicos [39], identificar grupos e comunidades de pesquisa [40,41], explicar o desempenho da pesquisa [42] e identificar cientistas influentes [43], entre outras finalidades. Embora os estudos de co-autoria melhorem nossa compreensão das interações dentre cientistas, uma análise de co-ocorrência pode revelar as conexões e lacunas entre as disciplinas acadêmicas que moldam a produção do conhecimento acadêmico.

Para a análise da co-ocorrência de categorias de assuntos e campos disciplinares nas mesmas publicações, limpamos o conjunto inicial de dados de 471 registros para incluírem apenas publicações relacionadas à energia hidráulica na Amazônia brasileira, que produziram um conjunto de 339 artigos revisados por pares para o período 2014-2019, do qual selecionamos um subconjunto de 290 registros da Web of Science Core Collection, para os quais estavam disponíveis dados completos sobre co-autoria, categorias WOS, organizações e financiamento. Usamos esse subconjunto para caracterizar os tópicos mais estudados em pesquisas recentes relacionadas à energia hidráulica, identificando quais categorias de assuntos do WOS estão representadas e medindo como e onde essas categorias de temas aparecem juntas. Sempre que uma publicação nos dados é relevante para várias categorias do WOS, isso é registrado como uma co-ocorrência para a publicação. Agrupamos e analisamos os dados usando o BibExcel para exportar os registros de publicação do WOS para Excel e R, RStudio e Igraph para produzir as visualizações de rede de co-ocorrência.

As principais limitações do método e das análises realizadas são: a) embora o WOS inclua o banco de dados SciELO²², ele não captura

²² O SciELO - Scientific Electronic Library Online - é um banco de dados bibliográfico, biblioteca digital e modelo cooperativo de publicação eletrônica de periódicos de acesso aberto. Foi criado para atender às necessidades de comunicação científica dos países em desenvolvimento e fornece uma maneira eficiente de aumentar a visibilidade e

publicações relevantes produzidas por acadêmicos no Brasil e em outros países da Amazônia não indexados no SciELO; b) Embora o SciELO inclua publicações em outros idiomas além do inglês, questões de tradução e a maneira como os artigos e palavras-chave são indexados podem levar a negligenciar as publicações; c) O WOS, que se concentra exclusivamente na literatura acadêmica, não captura a produção de conhecimento na forma de livros, relatórios, artigos voltados para políticas públicas e outros formatos, desenvolvidos por grupos da sociedade civil, incluindo autores e comunidades locais, organizações não-governamentais (ONGs) e povos e organizações indígenas; e d) Embora a pesquisa em todas as bases de dados do WOS tenha produzido um conjunto original de 339 artigos para o período 2014-2019, incluindo registros de SciELO (17), BIOSIS (2), MEDIS (2), MEDLINE (1), CABI (25) e Zoological Record (4), as análises de co-ocorrência, bem como dados sobre organizações, fontes de financiamento e categorias disciplinares do WOS, estavam disponíveis apenas para um subconjunto de 290 artigos. No entanto, para a análise qualitativa e descrição de avanços recentes, lacunas de conhecimento e orientações de pesquisa, usamos o conjunto completo de 339 artigos.

3. Pesquisa acadêmica sobre barragens hidrelétricas na Amazônia brasileira

A Figura 2 mostra a distribuição de publicações por ano nos conjuntos de dados do WOS, ilustrando o crescente interesse e produção científica em relação ao desenvolvimento hidrelétrico no Brasil e na região amazônica nos últimos vinte anos. Após o ano 2000, há um crescimento acentuado e contínuo de publicações sobre energia hidrelétrica no Brasil e na Amazônia, mostrando uma aceleração nos últimos cinco anos.

o acesso à literatura científica. Estabelecido originalmente no Brasil em 1997, atualmente há 14 países na rede SciELO e suas coleções de periódicos: Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Cuba, México, Peru, Portugal, South Africa, Spain, Uruguay, e Venezuela. Website: <https://www.scielo.org/en/>. Fonte: Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/SciELO>, acesso em 25 de Maio de 2019.

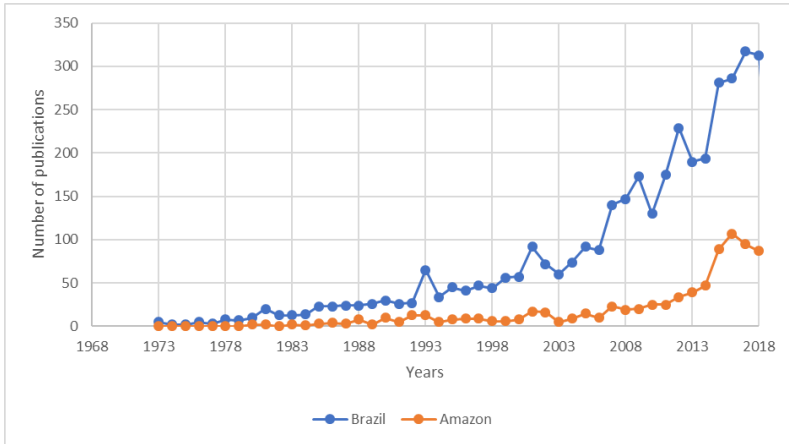


Figura 2. Número de publicações relacionadas a hidrelétricas brasileiras e amazônicas na Web of Science (WOS) para o período 1973-2019.

Nossa análise das categorias de assuntos da WOS revela a natureza multidisciplinar da pesquisa sobre desenvolvimento hidrelétrico na Amazônia brasileira. Das aproximadamente 250 categorias de assuntos no banco de dados do WOS, 56 aparecem neste conjunto de dados. Uma lista completa das categorias WOS apresentada nos diagramas deste artigo é fornecida nos Materiais Suplementares (SM1).

Uma análise das conexões dentro e entre grupos disciplinares ou temáticos na rede de co-ocorrência dos artigos selecionados nos ajuda a entender como pesquisadores com diferentes formações acadêmicas tendem a desenvolver equipes interdisciplinares (Fig. 3). Na Figura 3, os nós representam categorias de assuntos WOS e duas categorias são conectadas se tendem a aparecer juntas na descrição do WOS das mesmas publicações sobre barragens hidrelétricas. Os polígonos ao redor dos nós mostram agrupamentos (*clusters*) de categorias mais densamente conectadas, conforme identificado pelo algoritmo de *Louvain* para detecção de agrupamento de rede.

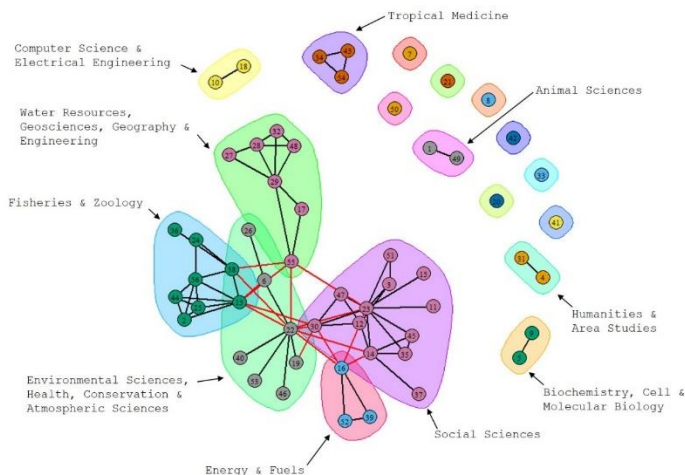


Figura 3. Rede de co-ocorrência entre categorias de assuntos do WOS em publicações com foco em hidrelétricas da Amazônia brasileira para o período 2014-2019. Os agrupamentos são categorias WOS, as conexões são co-ocorrências (linhas pretas entre agrupamentos mostram relações entre categorias dentro do mesmo cluster de Louvain, enquanto as relações entre cluster são mostradas como linhas vermelhas). Os IDs numéricos dos agrupamentos e as categorias correspondentes são fornecidos nos Materiais Suplementares (SM1). Polígonos coloridos são aglomerados de Louvain [44].

Os vários agrupamentos disciplinares e temáticos classificados de acordo com as categorias disciplinares do WOS são nós ou nódulos, e os vínculos entre eles são laços ou ligações. Os campos isolados são nós periféricos à rede, que não estão diretamente conectados a nenhum nó da rede, como por exemplo Ciência da Computação e Engenharia Elétrica, Medicina Tropical, Ciências Animais e outros. Os agrupamentos centrais representam subconjuntos de agrupamentos multi ou interdisciplinares/temáticos que estão se conectando com outros campos disciplinares. Como exemplo de uma conexão entre disciplinas, a categoria Recursos Hídricos (55) é um centro de conexões entre todos os campos, exceto Energia e Combustíveis. Os campos de Ecologia (13), Ciências ambientais (22), Ciência e tecnologia verde e sustentável (30) e Energia e combustíveis (16) fornecem conexões entre os outros campos "satélites". Ao detectar categorias de assuntos que abrangem pesquisadores de diferentes grupos disciplinares, podemos projetar estratégias para criar

pontes de pesquisa e facilitar a comunicação e a colaboração entre divisões disciplinares.

Além de identificar as ligações entre categorias de assuntos, nossa análise também identifica algumas das lacunas que podem ser um terreno fértil para a geração de conhecimento. Por exemplo, na Fig. 3 não há conexão entre o cluster de Engenharia Elétrica/Ciência da Computação e o cluster de Recursos Hídricos, o que pode representar uma oportunidade de colaboração. A Medicina Tropical também é um cluster isolado, que pode ser conectado a Zoologia e Ciências da Saúde. A Tabela 1 lista as dez principais categorias de assuntos nas publicações brasileiras relacionadas a barragens, que têm mais vínculos com categorias em outros grupos disciplinares na Fig. 3. Embora esses exemplos de categorias nem sempre estejam diretamente alinhados às disciplinas acadêmicas tradicionais, eles nos ajudam a entender os tipos de assuntos transversais de interesse para pessoas que estudam barragens no Brasil.

Tabela 1. As dez principais categorias da Web of Science com vínculos com outros grupos de Louvain.

ID	Categoria WOS	Vínculos no Grupo	Vínculos fora do Grupo
22	Ciências Ambientais	5	7
13	Ecologia	5	4
30	Ciência e Tecnologia Verde e Sustentável	3	4
55	Recursos Hídricos	2	4
16	Energia e Combustíveis	2	4
23	Estudos Ambientais	10	3
14	Economia	5	2
38	Biologia Marinha e de Água Doce	4	2
6	Conservação da Biodiversidade	2	1
19	Engenharia Ambiental	1	1

Análises adicionais da rede mediram a centralidade²³ de diferentes temas nas redes e capturaram o nível de envolvimento, ponte e influência dos agrupamentos [45]. Os campos de Ciências Ambientais (22), Recursos Hídricos (55), Biologia Marinha e de Água Doce (38), Estudos Ambientais

²³ O grau de centralidade é uma medida simples do número de conexões que um nó ou nóculo possui em uma rede, capturando o seu envolvimento e a sua influência potencial. O grau de intermediação mede até que ponto um nó fica no caminho mais curto entre outros nós, capturando pontes e mediações entre áreas desconectadas da rede [45].

(23), Energia e Combustíveis (16), Ecologia (13), Geociências (29), Economia (14), Ciência e tecnologia verde e sustentável (30) e Zoologia (56) apresentam um alto grau de centralidade e são as mais conectadas a outros subcampos, fornecendo suporte para pesquisa interdisciplinar e comunicação interdisciplinar. Os campos de Ciências Ambientais (22), Recursos Hídricos (55), Biologia Marinha e de Água Doce (38), Estudos Ambientais (23), Ecologia (13) e Geociências (29) apresentam um alto grau de intermediação, conectando campos que de outra forma não estariam conectados, podendo facilitar a colaboração e a comunicação relevante entre os campos desconectados. O campo interdisciplinar de Ciência e Tecnologia Verde e Sustentável (30) fornece uma conexão importante entre os campos das ciências biofísicas/ambientais e sociais.

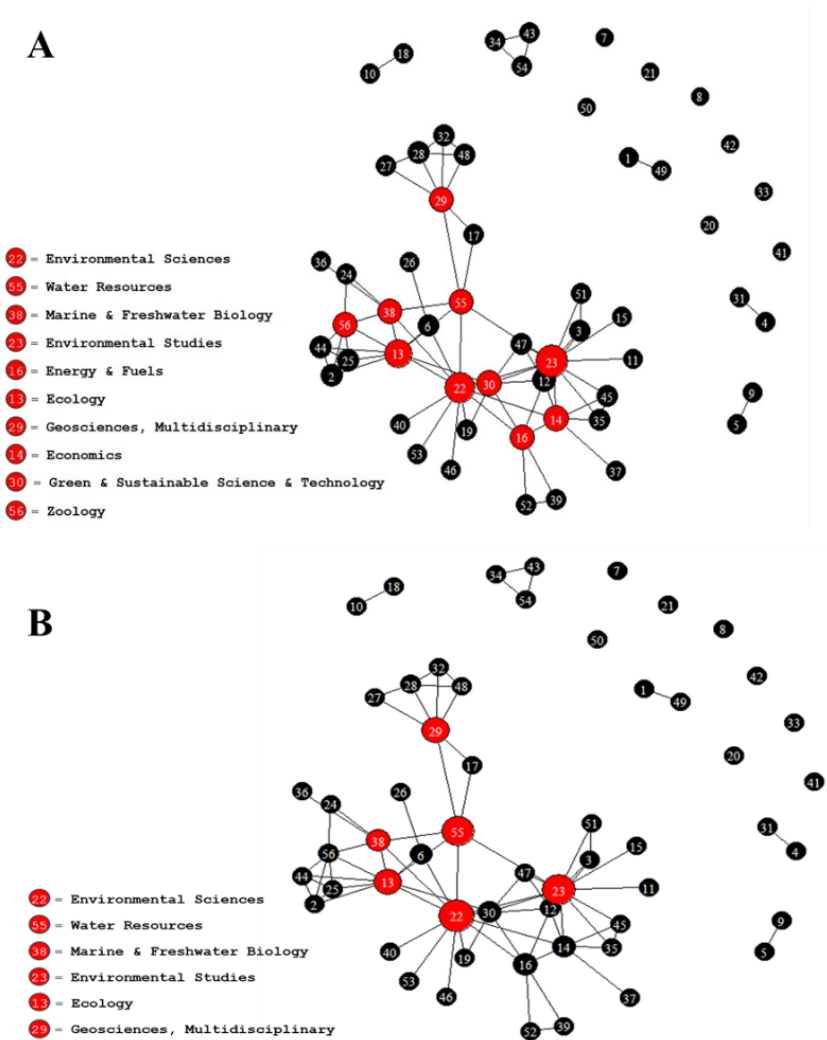


Figura 4. Rede de co-ocorrências entre categorias de assuntos da base de dados WOS em publicações brasileiras sobre hidrelétricas. (A) Categorias dimensionadas por grau de centralidade. Tamanhos maiores representam assuntos que têm mais conexões entre categorias. (B) Categorias dimensionadas por grau de intermediação. Tamanhos maiores representam categorias de assuntos que conectam áreas distantes que não estão conectadas na rede. Os nós vermelhos representam campos disciplinares com altos valores de centralidade e intermediação.

Caixa 1. Organizações e financiamento de pesquisas em hidrelétricas na Amazônia brasileira

De acordo com a pesquisa realizada na base WOS, as principais organizações de autores que publicam pesquisas revisadas por pares sobre energia hidráulica na Amazônia nos últimos cinco anos são as Universidades Brasileiras, dentre as quais o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) desempenha um papel de liderança (49 registros), seguido pelas Universidades Federais do Pará (UFPA, 34); Rondônia (UNIR, 27); Rio de Janeiro (UFRJ, 27); Amazonas (UFAM, 19); e Universidade de São Paulo (USP, 18), além de dez outras universidades brasileiras (ver SM 2). Internacionalmente, autores e coautores dessas publicações são da Universidade da Flórida (UF, 11), Universidade de East Anglia (11), Instituto de Pesquisa sobre o Desenvolvimento (IRD, 10), Centro Nacional de Pesquisa Científica (CNRS, 7), Universidade Estadual de Michigan State (MSU, 7) e Sorbonne Université (7), entre outros. Autores de ONGs brasileiras e internacionais também contribuíram para esse tópico nas publicações da WOS, incluindo o World Wildlife Fund (WWF), a Wildlife Conservation Society (WCS), o Conservation Strategy Fund (CSF), The Nature Conservancy (TNC) e o Instituto de Pesquisas da Amazônia (IPAM), entre outros.

O financiamento da pesquisa foi fornecido principalmente pelas agências de pesquisa do governo brasileiro, notadamente pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), com 39,3% dos registros das publicações, seguido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, 22,1%), Fundação de Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, 7,2%), Fundação de Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM 6,6%) e INPA (5,5%) (Fig. 5). Fora do Brasil, as principais agências de financiamento são a National Science Foundation (NSF) e o Natural Environment Research Council (NERC), com 4,5% e 3,8% dos registros (detalhes adicionais no SM 3). Também é importante destacar a contribuição do setor privado, representado pelas empresas construtoras Santo Antônio Energia (3,8%, barragem Santo Antônio no rio Madeira) e Norte Energia (2,1%, barragem Belo Monte no rio Xingu). Duas ONGs internacionais com programas no Brasil também apareceram entre as 20 principais organizações de financiamento: o World Wildlife Fund (WWF, 2,4%) e a Wildlife Conservation Society (WCS, 2,1%).

Muitos programas do CNPq e CAPES apoiaram a internacionalização da ciência por meio de iniciativas como o Programa Ciência Sem Fronteiras, que foi encerrado durante a administração presidencial de Michel Temer. A ciência brasileira está enfrentando um grande corte orçamentário sob o atual presidente Jair Bolsonaro, que em Abril de 2019 anunciou cortes no orçamento do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação, o qual seria reduzido pela metade, incluindo os programas de bolsas do CNPq²⁴. Nossas análises mostram que a ciência e o financiamento brasileiro têm sido críticos para o avanço da pesquisa sobre diversos aspectos do desenvolvimento da energia hidrelétrica na Amazônia. É necessário um apoio contínuo ao financiamento para enfrentar os riscos e incertezas associados ao desenvolvimento de energia em um contexto atual de mudanças climáticas e transformações socioecológicas sistêmicas em curso na Amazônia, associados ao rápido desenvolvimento de atividades socioeconômicas e ao avanço das fronteiras energéticas, extrativas e de infraestrutura [46,47].

²⁴ Brazil slashes funding to scientists. The planet may suffer:

O Brasil reduz o financiamento para cientistas. O planeta pode sofrer:

<https://www.nationalgeographic.com/environment/2019/04/brazil-cuts-funding-scientists-grad-students-environment-suffers/>

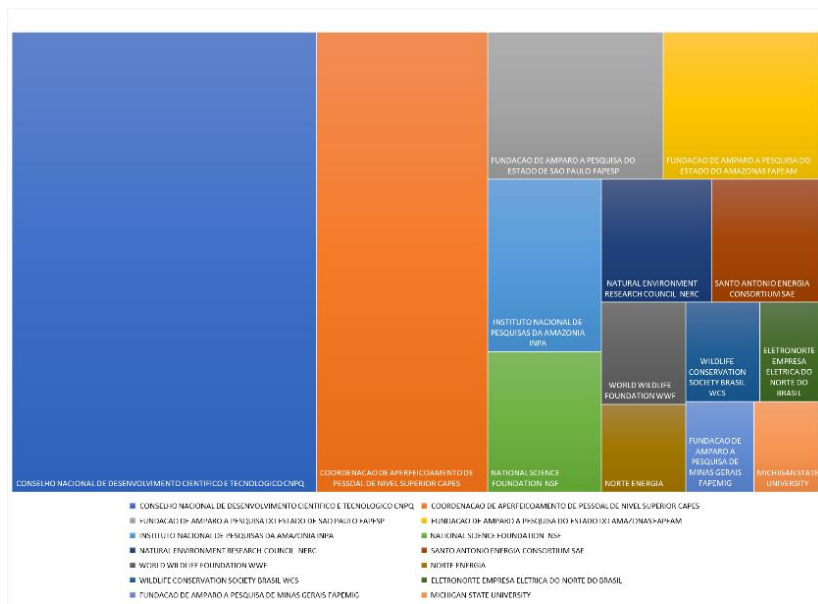


Figura 5 (caixa 1). Gráfico em “Mapa de Árvores” mostrando as principais agências de financiamento (com cinco ou mais registros) para publicações revisadas por pares sobre barragens hidrelétricas na Amazônia brasileira, de um subconjunto de 290 publicações do Web of Science, para o período 2014-2019. Informações adicionais disponíveis em Materiais Suplementares # 3 (SM 3).

4. Avanços recentes e lacunas de pesquisa em energia hidrelétrica na Amazônia brasileira

Para o subconjunto de 290 artigos publicados entre 2014-2019 com foco em energia hidrelétrica na Amazônia brasileira, a categoria Estudos Ambientais ocupa a posição de liderança com 60 registros, seguida por Ecologia (32), Energia e Combustíveis (30), Conservação da Biodiversidade (28), Ciências Multidisciplinares (28), Estudos ambientais (26), Ciência e Tecnologia verde e sustentável (26) e Recursos hídricos (22). Além do campo de Estudos Ambientais, as Ciências Sociais também estão representadas em Ciências Ambientais e Ciências Multidisciplinares, bem como em Geografia (19), Economia (11), Ciências Sociais Interdisciplinares (9), Direito (7) e Estudos de Desenvolvimento (6) (ver SM 4 para mais detalhes). Determinar um ajuste exato para artigos dentro das categorias WOS pode ser difícil, pois muitas vezes eles podem

enquadrar-se em mais de uma categoria, e há uma falta de critérios claros para distinguir algumas categorias, especialmente para os campos mais multi e/ou interdisciplinares, como as Ciências ambientais e as Ciências Multidisciplinares. Por exemplo, a Conservação da Biodiversidade é uma categoria altamente classificada, mas pode-se supor que esteja representada em outros campos, como Ecologia, Pesca, Biologia Marinha e de Água Doce e Ciências Ambientais. A mudança climática também não apareceu como uma categoria separada, mas uma pesquisa adicional revela que 32 dos 290 registros da WOS Core Collection mencionam ou se concentram em questões de mudança climática relacionadas à energia hidrelétrica.

Ao compilar e sintetizar a literatura recente deste subconjunto 2014-2019, identificamos três áreas principais de pesquisa interdisciplinar que representam o estado atual do conhecimento sobre energia hidrelétrica e sustentabilidade na Amazônia brasileira: a) processos biofísicos e socioecológicos; b) energia e infraestrutura; e c) Governança, desenvolvimento e bem-estar sociais relacionados a impactos das barragens. A barragem de Belo Monte, no Xingu, tem o maior número de publicações (62), seguida pelas barragens de Santo Antônio e/ou Jirau no rio Madeira (38), e barragens no Tapajós (14) e Tocantins (14). Abaixo, sintetizamos os principais avanços e lacunas de conhecimento extraídos do conjunto completo de 339 publicações para o período 2014-2019, detalhados na Tabela 2 (pag 38, após Referências).

4.1 Processos biofísicos e socioecológicos

A água é sem dúvida a característica física definidora da bacia amazônica. A quantidade e a qualidade da água são integradoras dos processos naturais e humanos integrados que ocorrem dentro da bacia hidrográfica [48], e ambos são direta e indiretamente afetados por hidrelétricas [11]. Construção de barragens [2,49], mudança no uso da terra [50,51], mudança climática [52,53] e suas interações [12]

demonstraram desempenhar um papel importante na alteração da hidrologia ribeirinha na Amazônia [54], com efeitos em cascata nos sistemas sociais e ecológicos [55]. Por exemplo, mudanças na hidrologia e na conectividade dos rios alteram os padrões de inundação da floresta de várzea [56] e produtividade [12], interrompem a migração de peixes [3,11], reduzem a produção pesqueira [51] e modificam o transporte de sedimentos de captação [2] e a biogeoquímica [57–61] em vastas escalas espaço-temporais. Embora o transporte de fluxo e sedimentos seja bem descrito por meio de modelos de bacias hidrográficas baseados em processos [62], e vários modelos de bacias hidrográficas já terem sido desenvolvidos e aplicados às escalas da bacia amazônica [48,63] e sub-bacias [64–67], a aplicação destes modelos no contexto mais amplo de mudanças sociais, ecológicas e climáticas é menos desenvolvido. Essa abordagem mais abrangente é crucial para: 1) desenvolver cenários futuros relevantes; 2) testar modelos conceituais de comportamento do sistema; e 3) orientar estratégias de gestão adaptativa [68–71]. Por exemplo, Stickler et al. [12] e Mohor et al. [72] mostram como é provável que os aumentos projetados no desmatamento e as quedas nas chuvas reduzam o potencial de geração de eletricidade, exemplificando como as interações entre a energia hidrelétrica, o uso da terra e o clima conduzem o estado futuro do sistema. É necessário trabalho adicional para combinar modelos hidrológicos e sedimentais em escala de bacias hidrográficas com modelos de funções e serviços do ecossistema para melhor prever os impactos das hidrelétricas nos sistemas ecológicos e sociais. Esses esforços são limitados, no entanto, por lacunas no entendimento sobre interações específicas entre vários processos biofísicos (por exemplo, hidrologia e geomorfologia, peixes e pesca, feedbacks do ecossistema terrestre e mudanças climáticas), os quais pretendemos sintetizar abaixo e na Tabela 2 (pg 38).

Talvez, obviamente, as mudanças induzidas pelas barragens nos regimes físico-químicos dos rios alterem a diversidade, composição, distribuição e abundância de peixes [10,73,74], ameaçando um terço da

biodiversidade de peixes de água doce do mundo [3]. Mudanças no pulso sazonal das enchentes e na conectividade dos rios interrompem a migração, o recrutamento e o desenvolvimento das espécies de peixes da Amazônia [10,75], impactando negativamente a reprodução e reduzindo as capturas a montante e a jusante das barragens [10,75,76]. As transformações nas pescarias amazônicas têm impactos socioeconômicos locais, regionais e transnacionais significativos [33,76,77], que também são de importância cultural e econômica crítica para os povos indígenas e comunidades ribeirinhas [78]. Embora tenham sido desenvolvidos indicadores biológicos, funcionais [79] e tróficos [80] da diversidade e abundância de peixes, a falta de monitoramento de longo prazo na Bacia Amazônica dificulta extremamente a identificação de impactos e comprometimentos durante os processos de planejamento e licenciamento de barragens [33,77]. Outras grandes lacunas de conhecimento incluem um entendimento limitado das relações entre ecologia de fluxo e a incrível diversidade de espécies de peixes da Amazônia [85] e orientações inadequadas para hidrelétricas e passagem de peixes que impedem a mortalidade e lesões de peixes [81] e que são relevantes para o cenário local e espécies associadas [87].

Além dos rios, as transformações do ecossistema terrestre associadas às barragens são pouco compreendidas na Amazônia [9] e no mundo. Barragens causam desmatamento direto via represamento de reservatórios [82] e significativas degradação e perda indireta das florestas por pelo menos três vias [55]: primeiro, a mudança no uso da terra associada a barragens causa desmatamento e degradação das florestas de terras altas [83-87]; segundo, as barragens alteram a hidrologia dos rios e das planícies de inundação, o que altera a estrutura e a função das florestas ripárias e das planícies de inundação [88-93]; por fim, a infraestrutura associada à barragem (por exemplo, linhas de transmissão; [94]) causa desmatamento adicional direto e indireto. Juntos, esses impactos no ecossistema terrestre induzidos por barragens têm efeitos em cascata na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos

[95], com evidências de impactos abrangentes em aves [96–98], mamíferos [99], insetos [100] e répteis [101]. Pesquisas atuais tendem a se concentrar em uma única barragem, e é necessário ampliar essa perspectiva para considerar impactos cumulativos, tanto de várias barragens em cascata, como de fatores com as quais estas interagem. Por exemplo, conexões indiretas entre barragens e desmatamento podem intensificar sinergias entre a perda de florestas e as mudanças climáticas, que alteram a dinâmica do fogo e o fluxo dos rios nas bacias [12,53,102]. Em geral, os mecanismos pelos quais as barragens afetam florestas, cobertura da terra e meios de subsistência (por exemplo, Bro et al. [103]) precisam ser melhor compreendidos para apoiar a prevenção, gerenciamento e mitigação desses impactos.

Interações entre barragens, água, peixes e ecossistemas terrestres são todos afetados (e afetam) pelo clima através de fatores biofísicos. Demonstrou-se que barragens e reservatórios tropicais emitem quantidades significativas de gases de efeito estufa (GHG) [104]. Embora o conhecimento sobre emissões de gases do efeito estufa (GEE) e barragens na Amazônia esteja avançando [105], são necessárias medidas adicionais para reduzir incertezas e apoiar melhores modelos de emissão, baseados em processos [60,61]. No entanto, argumentamos que a necessidade mais premente é a interpretação das informações existentes para subsidiar políticas, uma vez que as mudanças nos métodos para estimar as emissões de GEE têm maior probabilidade de afetar a magnitude das emissões atribuídas às barragens do que medições adicionais. Por exemplo, adotar um período de 20 anos versus 100 anos ao equiparar o potencial de aquecimento das emissões de dióxido de carbono e metano, alteraria drasticamente as avaliações da eficiência geral das barragens como fonte de eletricidade renovável. Argumentamos que um prazo mais longo é mais relevante para o período em que barragens novas e planejadas na Amazônia emitirão grandes quantidades de gás metano. Tais emissões terão efeitos enormes no aquecimento global, contribuindo

para exacerbar as mudanças nos regimes de precipitação e temperatura, e afetar negativamente muitos processos biofísicos [102,106].

4.2 Energia e infraestrutura

Energia e infraestrutura são temas importantes relacionados à governança de hidrelétricas e sustentabilidade da Amazônia. Políticas públicas e instituições ligadas ao desenvolvimento hidrelétrico incluem, por exemplo, políticas de gestão de bacias hidrográficas, reformas no setor elétrico, avaliações de impacto ambiental, políticas e processos de mitigação e monitoramento, avaliações econômicas e não econômicas e instrumentos de tomada de decisão em diferentes escalas. Existem lacunas de conhecimento e oportunidades para aprimoramento das políticas de licenciamento e instrumentos de avaliação de impacto socioambiental [14,107-109]. Uma dessas lacunas é uma surpreendente escassez de pesquisas e publicações sobre pequenas barragens ou pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) nas bacias hidrográficas brasileiras e amazônicas [14]. Incentivos e políticas públicas têm contribuído para um aumento de cinco vezes no número de PCHs nos últimos 20 anos, com 87 atualmente em operação e 256 inventariados nos rios amazônicos brasileiros [13,110]. É necessário pesquisar os custos e benefícios socioeconômicos de grandes e pequenas barragens, incluindo os impactos cumulativos de cascatas de barragens nos sistemas fluviais da Amazônia [14]. Isso também vale para as linhas de transmissão, cujos processos de licenciamento e avaliação de impacto têm sido realizados de forma desarticulada ao planejamento de energia hidrelétrica [94]. É necessário passar da lógica de projeto-a-projeto para a adoção de instrumentos de planejamento, como a Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) em escalas regionais e em toda a bacia, como o Tribunal de Contas da União (TCU) recomendou recentemente após avaliar as lições aprendidas no desenvolvimento de barragens na Amazônia [111].

Estudos avaliando perdas e ganhos entre diversas opções de geração de energia, bem como em cenários de riscos e custos de produção de energia afetados por mudanças climáticas são extremamente importantes para informar tanto o planejamento de infraestrutura, como os investimentos em adaptação e mitigação das mudanças climáticas de forma integrada [5, 112-114]. Lucena et al. [112] mostraram que os impactos das mudanças climáticas podem levar a emissões mais altas na ausência de políticas de mitigação climática, e que ações de mitigação podem levar a um nível total de investimento mais baixo.

Pesquisas conduzidas sob o tema de Energia e Combustíveis na base WOS também se concentraram em ferramentas tecnológicas para auxiliar no planejamento e na redução do risco econômico da dependência do sistema operacional hidro-térmico existente no Brasil; comparação entre de barragens a fio d'água versus barragens de reservatórios convencionais; bem como na eficiência energética; inovações e fontes alternativas de geração de energia, contribuindo para diversificar o mix de geração de energia [5, 115-117].

Menos esforços e publicações se concentraram em excedentes de custos e atrasos na construção de megaprojetos de infraestrutura. Callegari et al. [118] estimaram a função de distribuição de probabilidade de excedentes de custos e atrasos na construção das barragens de Jirau, Santo Antônio e Belo Monte na Amazônia brasileira, encontrando um excedente de custos de 91%, 64% e 70% a mais do que o orçamento inicial para todos os três casos. Com base nessa técnica, os autores sugerem que os formuladores de políticas aumentem seus orçamentos em cerca de 75% acima das estimativas iniciais para garantir, dentro de 50% de certeza, que seus custos finais estarão dentro do orçamento. De acordo com essas estimativas e experiências de outras partes do mundo, quanto maior o projeto, maior o risco de custos excedentes, com maior exposição a riscos macroeconômicos [119], levantando a questão de que, se os números fossem maiores, como deveriam ser, as barragens não seriam justificáveis economicamente.

4.3 Governança, desenvolvimento, impactos sociais e benefícios das barragens

Apesar dos esforços globais (por exemplo, relatório da Comissão Mundial de Barragens de 2000) direcionados para melhorar a participação da sociedade [120], a transparência e a proteção dos direitos humanos no planejamento e implementação de hidrelétricas, vários problemas ainda persistem no norte e sul global [30] em relação à governança, desenvolvimento e impactos sociais das barragens.

Kirchherr e Charles [121] propuseram uma “estrutura matricial” para orientar a pesquisa acadêmica sobre os impactos sociais das barragens, definindo três componentes principais: Infraestrutura, Meios de Vida e Comunidades, cada um com subcomponentes, e conectados às dimensões espaço, tempo e valor (positivo ou negativo). O componente Infraestrutura pode ser comparado ao tema “Energia e Infraestrutura” acima (4.2). Aspectos dos outros componentes e subcomponentes serão brevemente abordados aqui nos tópicos de mudança socioeconômica e sociocultural e saúde pública e saneamento. Percebemos uma lacuna do arcabouço de Kirchherr e Charles em relação a um subcomponente de direitos humanos e justiça socioambiental no componente comunitário, bem como um componente de governança, para incluir a participação e o poder da sociedade na tomada de decisões.

A definição de “atingidos” é crucial na caracterização dos impactos sociais e na compensação do desenvolvimento de hidrelétricas na Amazônia [122]. Apesar das semelhanças entre benefícios socioeconômicos e impactos negativos das barragens em todo o mundo [121], a região amazônica tem algumas especificidades que precisam ser consideradas no planejamento e na tomada de decisão (Fig. 6). Elas estão relacionadas, por exemplo, à enorme diversidade social e cultural presente na região, onde etnias indígenas, grupos de afrodescendentes, comunidades ribeirinhas, populações urbanas, agricultores familiares e

outros compartilham a região e seus recursos hídricos e florestais [123,124].

Nos casos recentes das barragens de Belo Monte e Santo Antônio e Jirau, a construção destes projetos levou a conflitos sociais [125-127], judicialização [35], violação de direitos humanos [37,128,129], impactos e violência diferenciados por gênero [129,130] e destruição dos meios de vida e locais sagrados das comunidades tradicionais e indígenas [35,103,131-136]. Comunidades indígenas e movimentos sociais formaram alianças que fortaleceram a resistência contra esses projetos [136,137]. Vários povos indígenas e comunidades locais desenvolveram protocolos de consulta comunitários em um processo de auto-regulamentação da Convenção da Organização Internacional do Trabalho (OIT 169) (da qual o Brasil é signatário), que determina o direito ao consentimento livre, prévio e informado dos povos indígenas e populações tradicionais em relação a projetos, políticas ou atividades que podem afetar seus meios de subsistência e/ou territórios [138-140].



Figura 6. Audiência pública da hidrelétrica de Belo Monte realizada em Altamira, Brasil, em 2009.

Foto: Lalo de Almeida, cortesia.

Frequentemente, as comunidades locais não têm acesso a publicações científicas que descrevem o sistema em que vivem e que compreendem a partir de suas próprias perspectivas [141,142]. Por exemplo, os pescadores afetados pelas barragens do Madeira pediram aos pesquisadores da RBA/ADN/RIRA que traduzissem os resultados de suas pesquisas de uma maneira acessível a eles [141]. Por outro lado, o conhecimento indígena e local mantido por povos indígenas e comunidades locais que possuem um conhecimento experimental de longo prazo dos sistemas socioecológicos da Amazônia, é frequentemente desconsiderado em processos de planejamento e tomada de decisão [124,131,143].

Barragens hidrelétricas podem afetar a saúde humana de diferentes maneiras, a montante e a jusante, tanto em ambientes rurais quanto urbanos. As barragens podem impactar a saúde humana através de mudanças na qualidade da água, contaminação das águas subterrâneas [144], mudanças no acesso a serviços de saneamento e médicos devido ao aumento do fluxo de pessoas e trabalhadores para os locais das barragens [145,146], impactos psicológicos pela perda dos meios de subsistência tradicionais e deslocamento [134,147], mudanças nos estilos de vida [30,37,130], segurança alimentar e dietas [33,148], aumento da propagação de doenças infecciosas e sexualmente transmissíveis [149,150], aumento da exposição ao mercúrio, e outros [151]. Encontramos uma grande lacuna nas publicações com foco em doenças sexualmente transmissíveis no conjunto de dados compilado pela base WOS, apesar do aumento esperado do risco de doenças sexualmente transmissíveis associadas ao desenvolvimento de hidrelétricas.

Em relação ao desenvolvimento socioeconômico, embora os principais benefícios de uma usina hidrelétrica ocorram em escala nacional [152], é nas escalas local e regional que os principais impactos negativos são sentidos, incluindo o deslocamento e reassentamento forçados, o desmatamento de terras produtivas, o aumento abrupto da população, a demanda crescente por infraestrutura e serviços, a perda de renda e de coesão social e os impactos nos meios de subsistência

[30**,103,119,153,157]. Em contraste com esse conjunto de possíveis impactos negativos, os construtores e apoiadores de barragens defendem o argumento de que as usinas hidrelétricas promovem melhorias nas condições socioeconômicas das localidades que as hospedam [158,159]. Essa controvérsia motivou o surgimento de pesquisas com o objetivo de elucidar como as barragens hidrelétricas podem ser indutoras e/ou restritivas do desenvolvimento local.

Para as usinas hidrelétricas de Jirau, Santo Antônio e Belo Monte, Moran et al. [30] constataram que os empregos prometidos praticamente desapareceram em menos de cinco anos após a construção. Estudos realizados em outras regiões brasileiras mostram que o crescimento econômico temporário que tem lugar durante a fase de construção é frequentemente o principal benefício associado à implementação da energia hidrelétrica em municípios inundados por barragens [159-162]. No entanto, este crescimento econômico geralmente não é acompanhado ou não está correlacionado a melhorias em outros indicadores de desenvolvimento social, como desigualdade social, trabalho infantil, problemas sanitários, taxa de fertilidade e educação [159,163].

Randell [164] conduziu um estudo longitudinal sobre riqueza e percepção subjetiva de bem-estar entre as comunidades deslocadas pela barragem de Belo Monte, descobrindo que a maioria das pessoas entrevistadas relataram aumento da riqueza, particularmente aquelas que não possuíam terras antes da construção da barragem, aquelas que ganharam ativos e aquelas que permaneceram mais próximo da área de estudo original. No entanto, o autor reconhece a importância de coletar dados adicionais após a conclusão da construção da barragem, bem como incluir outros grupos sociais e populações afetadas em tais estudos.

Em geral, esses estudos mostram duas convergências: que há crescimento econômico de curto prazo seguido de retração de médio prazo (provavelmente devido aos grandes investimentos que ocorrem durante a fase de construção); e que os resultados alcançados dependem bastante do contexto de cada estudo, dificultando a estimativa de padrões que

permitam uma visão integrada. Os impactos socioeconômicos de hidrelétricas são complexos, ocorrem através de múltiplas escalas espaço-temporais [165,166] e envolvem múltiplas dimensões [121,167].

5. Conclusão e Futuras Direções

A análise de publicações da base Web of Science relacionadas à energia hidrelétrica na Amazônia brasileira ilustra um alto grau de pesquisas interdisciplinares relacionadas aos sub-campos das ciências ambientais, ecologia e recursos hídricos, mas indica que a pesquisa que une esses campos, especialmente a ciência e tecnologia verde e sustentável e as categorias de energia e combustíveis, oferecem oportunidades para nova produção integrativa de conhecimento. Além disso, sugerimos que as análises das estruturas e instrumentos legais e políticos existentes possam ser usadas como pontos de partida para identificar lacunas de conhecimento, sintetizar informações existentes e fornecer soluções orientadas a políticas que podem ser aperfeiçoadas e implementadas por meio de abordagens de aprendizado e gerenciamento sociais [168].

O mapeamento do conjunto de instituições e organizações financiadoras envolvidas em pesquisas sobre energia hidrelétrica na Amazônia brasileira demonstra a importante liderança que pesquisadores e universidades brasileiras desempenham no avanço da pesquisa sobre esse tema, bem como o apoio fundamental fornecido pelas agências de financiamento do país. É essencial fornecer o apoio necessário para o fortalecimento da educação e pesquisa científica no Brasil, especialmente nas universidades amazônicas que estão bem posicionadas para enfrentar os desafios e riscos locais associados aos projetos de energia hidrelétrica existentes e planejados. Isso pode ser apoiado pelo aprimoramento dos programas de graduação e pós-graduação, oferecendo aos estudantes e professores oportunidades de mobilidade nacional e internacional²⁵,

²⁵ Como o programa Bionorte, o Programa Pró-Amazônia, o PROCAD, o Ciência Sem Fronteiras e outros apoiados pela CAPES: <https://www.capes.gov.br/>

assegurando financiamento para bolsas de estudos, pesquisa e equipamento de campo e desenvolvendo parcerias com agências financiadoras e outras instituições nacionais e internacionais.

Para avançar em direção a caminhos mais resilientes e sustentáveis para a Amazônia brasileira, pesquisas futuras sobre energia hidrelétrica na Amazônia podem se concentrar em aprofundar o entendimento dos seguintes pontos:

- a) A definição, em instrumentos de pesquisa e de licenciamento, do que são impactos diretos e indiretos, quem é impactado e quais são as áreas impactadas, o que pode aliviar a incompatibilidade entre achados científicos, instrumentos de políticas públicas e a realidade no chão. Isso também tem implicações importantes para gerenciar conflitos e processos legais em torno da definição de quem será compensado pelas empresas de barragens, bem como o planejamento de programas de deslocamento e reassentamento.
- b) O entendimento da variação temporal e a magnitude dos impactos socioecológicos nos subsistemas aquáticos, terrestres e sociais, além da melhor compreensão dos impactos a montante e a jusante. Isso tem implicações importantes para as fases de planejamento e operação de barragens, duração dos programas de monitoramento e mitigação, e para o desenvolvimento de programas de compensação e compreensão dos impactos cumulativos e sinérgicos no planejamento em escalas regional e de bacia hidrográfica.
- c) A distribuição de custos e benefícios de grandes e pequenas barragens em escalas temporais e geopolíticas, considerando múltiplas abordagens de avaliação, a diversidade de partes interessadas que recebem os benefícios e os custos desses projetos, bem como diferenças e implicações entre gêneros e gerações.
- d) Questões geopolíticas em torno de rios e barragens transnacionais relevantes para a Amazônia, o Mekong, o Congo e outras bacias hidrográficas transnacionais ao redor do mundo. Fluxos de água, sedimentos, peixes e outras espécies de animais aquáticos e terrestres, clima e muitas vezes as pessoas não são restringidos por fronteiras políticas. A compreensão desses processos requer esforços em toda a bacia e monitoramento a longo prazo. Na arena política, gerenciar esses sistemas envolve a promoção de diálogos e negociações internacionais e intersetoriais, maior participação do público e comitês independentes de bacias hidrográficas transnacionais para informar e influenciar a tomada de decisão em rios transnacionais [2].
- e) Avaliação de impactos cumulativos, levando em consideração que os impactos biológicos, sociais e econômicos em uma localidade são produto da interação de

transformações acionadas por hidrelétricas com outros projetos e ações existentes no território [121,169,170]. Nessa perspectiva, o foco não é mais o projeto hidrelétrico, mas passa a ser o sistema socioecológico local e regional afetado por diversas ações ou projetos (por exemplo, barragens, mudanças climáticas, mudanças demográficas etc.). Para lidar com os impactos cumulativos, o entendimento deve envolver as bases de recursos naturais locais e regionais, o conhecimento e a contribuição das comunidades indígenas e locais e os contextos sociais e de governança local e regional que moldam os sistemas socioecológicos.

A síntese da produção acadêmica recente sobre desenvolvimento hidrelétrico na Amazônia brasileira apresentada neste artigo, fornece evidências do caminho insustentável criado por grandes e pequenas barragens construídas em rios amazônicos do ponto de vista social, econômico ou ambiental. É importante reconhecer a impossibilidade da quantificação monetária de muitos impactos, como por exemplo a perda de espécies de peixes devido à interrupção das rotas migratórias ou a perda simbólica de meios de subsistência baseados no local. Assim, não se pode calcular, mitigar e compensar completamente os custos associados à construção de grandes e pequenas barragens no maior sistema tropical do mundo.

Finalmente, esta síntese identificou lacunas na comunicação que existem entre cientistas, sociedade civil e comunidades locais, setor privado e tomadores de decisão. Os esforços precisam ser direcionados para colmatar essas lacunas por meio de várias estratégias e ferramentas. Os fóruns e oportunidades de aprendizado social podem apoiar o diálogo e o aprendizado de experiências anteriores de implementação de barragens, afastando-se da escala do projeto para adotar abordagens de planejamento e pesquisa estratégica em escalas regionais e de bacia hidrográfica.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer muitos colegas e estudantes que forneceram suporte e insumos para o processo de construção deste artigo. Entre eles, agradecimentos especiais a Emilio Moran (MSU), Marianne Schmink (UF), Robert Buschbacher (UF), Fernando

Prado (Sinerconsult), Artur Moret (UNIR), Dernival V. Ramos Júnior (UFT), Maria Alice L. Lima (UNIR), Ellen Amaral (UFT), Neiva C. Araújo (UNIR), Marliz Arteaga (UF), Kelsie Timpe (UF), Randy Cronos (UF), Denis R. Valle (UF), Elizabeth Anderson (Universidade Internacional da Flórida - FIU) e Kathleen McKee (consultora independente). Agradecemos o apoio institucional prestado aos eventos de pesquisa e construção de redes da RBA, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Tocantins (PGCiamb/UFT); o Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente da Universidade Federal de Rondônia (PGDRA/UNIR); e o Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de São Paulo (PROCAM/USP). Agradecemos também o Programa de Conservação e Desenvolvimento Tropical (TCD) e o Centro de Estudos Latino Americanos da Universidade da Flórida (UF) pelo apoio.

Financiamento: Este trabalho foi financiado pela Agência Brasileira CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), por meio do Programa Pró-Amazônia (Projeto nº 021/2012); o PGCI/CAPES - Programa de Cooperação Internacional (Projeto nº 038/2013); e o projeto Ciência sem Fronteiras/PVE (Processo 88881.064958/2014-01). Também reconhecemos o apoio concedido pelo programa Research Opportunity Seed Fund Award 2013-2015 do da Universidade da Flórida e pela National Science Foundation (NSF) à Rede de Pesquisa em Barragens da Amazônia/Amazon Dams Network/Red de Investigación sobre Represas Amazónicas (RBA/ADN/RIRA) sob a concessão nº 1617413. Quaisquer opiniões, conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade dos autores e não refletem necessariamente a visão das agências de financiamento brasileiras, da Universidade da Flórida e da National Science Foundation. Qualquer uso de nomes comerciais, de produtos ou de firmas são apenas para fins descritivos e não implica aprovação pelo governo dos EUA.

Referências e Leitura Recomendada:

Publicações de particular interesse, publicados dentro do período coberto por esta revisão, foram destacados como:

* de interesse especial

** de interesse excepcional

1. Castello L, Mcgrath DG, Hess LL, Coe MT, Lefebvre PA, Petry P, Macedo MN, Renó VF, Arantes CC: **The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems.** *Conserv Lett* 2013, **6**:217-229.

2. Latrubesse EM, Arima EY, Dunne T, Park E, Baker VR, D'Horta FM, Wight C, Wittmann F, Zuanon J, Baker PA, et al.: **Damming the rivers of the Amazon basin.** *Nature* 2017, **546**.
- ** Introduz um Índice de Vulnerabilidade Ambiental de Barragens para quantificar os impactos atuais e potenciais de barragens nas sub-bacias amazônicas e sugere colaboração multinacional e mudanças nas estruturas institucionais para evitar mais distúrbios hidrofísicos e bióticos.
3. Winemiller KO, McIntyre PB, Castello L, Fluet-Chouinard E, Giarrizzo T, Nam S, Baird IG, Darwall W, Lujan NK, Harrison I, et al.: **Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong.** *Science (80-)* 2016, **351**:128–129.
- ** Sintetiza os efeitos vastos e de longe alcance das barragens existentes e planejadas na biodiversidade dos peixes nas principais bacias hidrográficas tropicais do mundo. Sugere abordagens aprimoradas de avaliação e localização de barragens que consideram o planejamento em escala de bacias, dados sobre biodiversidade espacial e a explicação para efeitos cumulativos e mudanças climáticas.
4. Morton DC, DeFries RS, Shimabukuro YE, Anderson LO, Arai E, del Bon Espirito-Santo F, Freitas R, Morisette J: **Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon.** *Proc Natl Acad Sci U S A* 2006, **103**:14637–41.
5. Prado Jr. FA, Athayde S, Mossa J, Bohlman S, Leite F, Oliver-Smith A, Prado F, Athayde S, Mossa J, Bohlman S, et al.: **How much is enough? An integrated examination of energy security, economic growth and climate change related to hydropower expansion in Brazil.** *Renew Sustain ENERGY Rev* 2016, **53**:1132–1136.
6. Moretto EM, Gomes CS, Roquetti DR, Jordão C de O: **Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica.** *Ambient Soc* 2012, **15**:141–164.
7. EPE, Empresa de Pesquisa Energética: *Plano Decenal de Expansão de Energia 2026.* Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética.; 2017.

8. Killeen TJ: *A Perfect Storm in the Amazon Wilderness: Development and Conservation in the Context of the Initiative for the Integration of the Regional Infrastructure of South America (IIRSA)*. 2007.
9. Finer M, Jenkins CNC, Dynesius M, Nilsson C, Vörösmarty C, McIntyre P, Gessner M, Dudgeon D, Prusevich A, Nilsson C, et al.: **Proliferation of hydroelectric dams in the andean amazon and implications for andes-amazon connectivity**. *PLoS One* 2012, **7**:1-9.
10. Anderson EP, Jenkins CN, Heilpern S, Maldonado-Ocampo JA, Carvajal-Vallejos FM, Encalada AC, Rivadeneira JF, Hidalgo M, Cañas CM, Ortega H, et al.: **Fragmentation of Andes-to-Amazon connectivity by hydropower dams**. *Sci Adv* 2018, **4**.
- ** Quantifica os efeitos cumulativos de 142 barragens existentes e 160 barragens propostas na conectividade fluvial dos Andes à Amazônia, com importantes implicações para a migração de peixes e a biodiversidade e a distribuição / transporte de sedimentos.
11. Forsberg BR, Melack JM, Dunne T, Barthem RB, Goulding M, Paiva RCD, Sorribas M V., Silva UL, Weisser S: **The potential impact of new Andean dams on Amazon fluvial ecosystems**. *PLoS One* 2017, **12**.
- * Quantifica o potencial de captura de sedimentos e nutrientes das barragens andinas planejadas, que têm o potencial de remover 64, 51 e 23% dos sedimentos, fósforo e nitrogênio da bacia amazônica, respectivamente.
12. Stickler CM, Coe MT, Costa MH, Nepstad DC, McGrath DG, Dias LCP, Rodrigues HO, Soares-Filho BS: **Dependence of hydropower energy generation on forests in the Amazon Basin at local and regional scales**. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2013, **110**:9601-9606.
- * Estima como a perda florestal pode reduzir a vazão do rio por evapotranspiração e inibindo as chuvas em vários cenários, afetando a produção de eletricidade da barragem de Belo Monte.
13. Couto TB, Olden JD: **Global proliferation of small hydropower plants - science and policy**. *Front Ecol Environ* 2018, **16**:91-100.

- ** Fornece evidências da falta de supervisão cientificamente informada do desenvolvimento de pequenas hidrelétricas, além de destacar as limitações dos regulamentos baseados em capacidade atualmente em uso.
14. Athayde S, Duarte CG, Gallardo ALCF, Moretto EM, Sangoi LA, Dibo APA, Siqueira-Gay J, Sánchez LE, Sanchez LE: **Improving policies and instruments to address cumulative impacts of small hydropower in the Amazon.** *Energy Policy* 2019, **132**:265-271.
- * Discute a necessidade de melhorar políticas e instrumentos para a avaliação cumulativa do impacto de pequenas usinas hidrelétricas na Amazônia, concentrando-se em uma cascata planejada de pequenas barragens na sub-bacia de Cupari no rio Tapajós.
15. Fearnside PM: **Tropical dams: to build or not to build?** *Science (80-)* 2016, **351**.
16. Soito JLDS, Freitas MAV: **Amazon and the expansion of hydropower in Brazil: Vulnerability, impacts and possibilities for adaptation to global climate change.** *Renew Sustain Energy Rev* 2011, **15**:3165-3177.
17. de Sousa Júnior WC, Reid J: **Uncertainties in Amazon hydropower development: Risk scenarios and environmental issues around the Belo Monte dam.** *Water Altern* 2010, **3**:249-268.
18. Gallardo ALCF, Da Silva JC, Gaudereto GL, Sozinho DWF: **A avaliação de impactos cumulativos no planejamento ambiental de hidrelétricas na bacia do rio Teles Pires (região amazônica).** *Desenvolv e Meio Ambient* 2017, **43**.
19. Melis TS, Walters CJ, Korman J: **Surprise and Opportunity for Learning in Grand Canyon: the Glen Canyon Dam Adaptive Management Program.** *Ecol Soc* 2015, **20**:art22.
20. Kates RW, Clark WC, Corell R, Hall JM, Jaeger CC, Lowe I, McCarthy JJ, Schellnhuber HJ, Bolin B, Dickson NM, et al.: **Sustainability science.** *Science* 2001, **292**:641-2.
21. Bond A, Morrison-Saunders A, Gunn JAE, Pope J, Retief F: **Managing uncertainty, ambiguity and ignorance in impact assessment by embedding evolutionary resilience, participatory modelling and adaptive management.** *J Environ Manage* 2015, **151**.

22. Bond A, Morrison-Saunders A, Pope J: **Sustainability assessment: the state of the art.** *Impact Assess Proj Apprais* 2012, **30**:53–62.
23. Martens P: **Sustainability: science or fiction?** *Sustain Sci Pract Policy* 2006, **2**:36–41.
24. Ostrom E: **A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems.** *Sci New Ser* 2009, **325**:419–422.
25. Hodgson GM: **What Are Institutions?** *J Econ Issues* 2006, **XL**:1–25.
26. Armitage DR, Plummer R, Berkes F, Arthur RI, Charles AT, Davidson-Hunt IJ, Diduck AP, Doubleday NC, Johnson DS, Marschke M, et al.: **Adaptive co-management for social-ecological complexity.** *Front Ecol Environ* 2009, **7**:95–102.
27. Agrawal A, Chhatre A: **Against mono-consequentialism: Multiple outcomes and their drivers in social-ecological systems.** *Glob Environ Chang* 2011, **21**:1–3.
28. Westgate MJ, Likens GE, Lindenmayer DB: **Adaptive management of biological systems: A review.** *Biol Conserv* 2013, **158**:128–139.
29. Alarcon DF, Millikan B, Torres M: *Ocejadi : hidrelétricas, conflitos socioambientais e resistência na Bacia do Tapajós.* International Rivers; 2016.
30. Moran EF, Lopez MC, Moore N, Müller N, Hyndman DW, Mueller N, Hyndman DW, Müller N, Hyndman DW: **Sustainable hydropower in the 21st century.** *Proc Natl Acad Sci U S A* 2018, **115**:11891–11898.
- ** Estuda a proliferação de grandes barragens nos países em desenvolvimento, evidenciando a superestimação de benefícios e subestimação de custos e propondo as mudanças necessárias para atender às legítimas preocupações sociais e ambientais das pessoas que vivem nas áreas onde as barragens são planejadas.
31. McCormick S: **The Governance of Hydro-electric Dams in Brazil.** *J Lat Am Stud* 2007, **39**:227.
32. Duarte CG, Dibo APA, Siqueira-Gay J, Sánchez LE: **Practitioners' perceptions of the Brazilian environmental impact assessment system: results from a survey.** *Impact Assess Proj Apprais* 2017, **35**:293–309.

33. Doria CRC, Athayde S, Marques EE, Lima MAL, Dutka-Gianelli J, Ruffino ML, Kaplan D, Freitas CEC, Isaac VN: **The invisibility of fisheries in the process of hydropower development across the Amazon.** *Ambio* 2017, doi:10.1007/s13280-017-0994-7.
- * Analisa criticamente o processo de licenciamento ambiental brasileiro em relação à pesca e barragens, destacando cinco questões principais: transparência e independência, limitações de dados, participação das partes interessadas, organização e representação dos pescadores e estrutura e capacidade do governo.
34. Zhouri A, Oliveira R: **Desenvolvimento, conflitos sociais e violência no Brasil rural: o caso das usinas hidrelétricas.** *Ambient Soc* 2007, **10**:119–135.
35. Scabin FS, Pedroso Junior NN, Cruz JC da C: **Judicialização de grandes empreendimentos no Brasil: uma visão sobre os impactos da instalação de usinas hidrelétricas em populações locais na Amazônia.** *R Pós Ci Soc* 2014, **11**:130–150.
36. Hall SM: **Energy Justice and Ethical Consumption: Comparison, Synthesis and Lesson Drawing.** *Local Environ* 2013, **18**.
37. Jaichand V, Sampaio AA: **Dam and Be Damned: The Adverse Impacts of Belo Monte on Indigenous Peoples in Brazil.** *Hum Rights Q* 2013, **35**:408–447.
38. Wuchty S, Jones BF, Uzzi B: **The increasing dominance of teams in production of knowledge.** *Science* 2007, **316**:1036–9.
39. Bettencourt LMA, Kaiser DI, Kaur J: **Scientific discovery and topological transitions in collaboration networks.** *J Informetr* 2009, **3**:210–221.
40. Perianes-Rodríguez A, Olmeda-Gómez C, Moya-Anegón F: **Detecting, identifying and visualizing research groups in co-authorship networks.** *Scientometrics* 2010, **82**:307–319.
41. Leone Sciabolazza V, Vacca R, Kennelly Okraku T, McCarty C: **Detecting and analyzing research communities in longitudinal scientific networks.** *PLoS One* 2017, **12**:e0182516.
42. Gonzalez-Brambila CN, Veloso FM, Krackhardt D: **The impact of network embeddedness on research output.** *Res Policy* 2013, **42**:1555–1567.

43. Newman MEJ: **The structure of scientific collaboration networks.** *Proc Natl Acad Sci* 2001, **98**:404–409.
44. Blondel VD, Guillaume J-L, Lambiotte R, Lefebvre E: **Fast unfolding of communities in large networks.** *J Stat Mech Theory Exp* 2008, **2008**:P10008.
45. Freeman LC: **Centrality in social networks conceptual clarification.** *Soc Networks* 1978, **1**:215–239.
46. Nobre CA, Sampaio G, Borma LS, Castilla-Rubio JC, Silva JS, Cardoso M: **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* 2016, **113**:10759–10768.
47. Moran EF: **Roads and dams: infrastructure-driven transformations in the Amazon.** *Ambient Soc* 2016, **19**:207–220.
48. Coe MT, Costa MH, Soares Filho BS: **The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River - land surface processes and atmospheric feedbacks.** *J Hydrol* 2009, **369**:165–174.
49. Timpe K, Kaplan D: **The changing hydrology of a dammed Amazon.** *Sci Adv* 2017, **3**:e1700611.
- ** Sintetiza pela primeira vez alteração hidrológica induzida por barragem na Amazônia brasileira. Os autores descobriram as maiores mudanças no pulso de inundação para barragens de grandes elevações e baixa elevação, mas os impactos das pequenas foram extremamente grandes em relação à produção de eletricidade.
50. Germer S, Neill C, Krusche A V., Elsenbeer H: **Influence of land-use change on near-surface hydrological processes: Undisturbed forest to pasture.** *J Hydrol* 2010, **380**:473–480.
51. Dos Santos V, Laurent F, Abe C, Messner F, Dos Santos V, Laurent F, Abe C, Messner F: **Hydrologic Response to Land Use Change in a Large Basin in Eastern Amazon.** *Water* 2018, **10**:429.
52. Sorribas MV, Paiva RCD, Melack JM, Bravo JM, Jones C, Carvalho L, Beighley E, Forsberg B, Costa MH: **Projections of climate change effects on discharge and inundation in the Amazon basin.** *Clim Change* 2016, **136**:555–570.

53. Guimberteau M, Ciais P, Pablo Boisier J, Paula Dutra Aguiar A, Biemans H, De Deurwaerder H, Galbraith D, Kruijt B, Langerwisch F, Poveda G, et al.: **Impacts of future deforestation and climate change on the hydrology of the Amazon Basin: A multi-model analysis with a new set of land-cover change scenarios.** *Hydrol Earth Syst Sci* 2017, **21**.
- ** Investiga as interações entre o clima e os impactos das mudanças no uso da terra na hidrologia da superfície da Amazônia, destacando as diferenças nas respostas em toda a bacia e quantificando as principais incertezas.
54. Pokhrel Y, Burbano M, Roush J, Kang H, Sridhar V, Hyndman D, Pokhrel Y, Burbano M, Roush J, Kang H, et al.: **A Review of the Integrated Effects of Changing Climate, Land Use, and Dams on Mekong River Hydrology.** *Water* 2018, **10**:266.
- * Revisa a literatura sobre mudanças ecológicas e hidrológicas esperadas de mudanças no clima, uso da terra e construção de barragens. Empahsazes o nexa da água, da energia, e do alimento (WEF) como uma estrutura para a pesquisa integrativa futura.
55. Rufin P, Gollnow F, Müller D, Hostert P: **Synthesizing dam-induced land system change.** *Ambio* 2019, doi:10.1007/s13280-018-01144-z.
- ** Sintetiza 178 observações de mudanças diretas e indiretas no sistema terrestre devido ao desenvolvimento da barragem. Os autores identificaram efeitos significativos das inundações em reservatórios (29%), mas também efeitos indiretos importantes nos sistemas sociais e ambientais.
56. Resende AF de, Schöngart J, Streher AS, Ferreira-Ferreira J, Piedade MTF, Silva TSF: **Massive tree mortality from flood pulse disturbances in Amazonian floodplain forests: The collateral effects of hydropower production.** *Sci Total Environ* 2019, **659**:587–598.
57. Pang M, Zhang L, Bahaj AS, Xu K, Hao Y, Wang C: **Small hydropower development in Tibet: Insight from a survey in Nagqu Prefecture.** *Renew Sustain Energy Rev* 2018, **81**:3032–3040.
58. Arrifano GPF, Martín-Doimeadios RCR, Jiménez-Moreno M, Ramírez-Mateos V, da Silva NFS, Souza-Monteiro JR, Augusto-Oliveira M, Paraense RSO, Macchi BM, do Nascimento JLM, et al.: **Large-scale projects in the amazon and human exposure**

- to mercury: The case-study of the Tucuruí Dam.** *Ecotoxicol Environ Saf* 2018, **147**:299–305.
59. Pestana IA, Azevedo LS, Bastos WR, Magalhães de Souza CM: **The impact of hydroelectric dams on mercury dynamics in South America: A review.** *Chemosphere* 2019, **219**:546–556.
60. Paranaíba JR, Barros N, Mendonça R, Linkhorst A, Isidorova A, Roland F, Almeida RM, Sobek S: **Spatially Resolved Measurements of CO₂ and CH₄ Concentration and Gas-Exchange Velocity Highly Influence Carbon-Emission Estimates of Reservoirs.** *Environ Sci Technol* 2018, **52**:607–615.
61. Almeida RM, Barros N, Cole JJ, Tranvik L, Roland F: **Emissions from Amazonian dams.** *Nat Clim Chang* 2013, **3**:1005–1005.
62. Daniel EB: **Watershed Modeling and its Applications: A State-of-the-Art Review.** *Open Hydrol J* 2011, **5**:26–50.
63. de Paiva RCD, Buarque DC, Collischonn W, Bonnet M-P, Frappart F, Calmant S, Bulhões Mendes CA: **Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin.** *Water Resour Res* 2013, **49**:1226–1243.
64. Neto AR, Collischonn W, Vieira RC, Silva DA, Tucci CEM: *Hydrological modelling in Amazonia-use of the MGB-IPH model and alternative databases.* IAHS Publ; 2005.
65. Tucci C, Marengo J, Silva Dias P, Collischonn W, Silva B, Clarke R, Cardoso A, Negrón-Juárez R, Sampaio G, Chou SC: *Streamflow forecasting in São Francisco River Basin based in the climatic forecasting.* 2005.
66. Siqueira Junior JL, Tomasella J, Rodriguez DA, Júnior JLS, Tomasella J, Rodriguez DA: **Impacts of future climatic and land cover changes on the hydrological regime of the Madeira River basin.** *Clim Change* 2015, **129**:117–129.
67. Collischonn W, Allasia D, da Silva BC, Tucci CEM: **The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling.** *Hydrol Sci J* 2007, **52**:878–895.
68. Baldassarre G Di, Viglione A, Carr G, Kuil L, Yan K, Brandimarte L, Blöschl G: **Debates—Perspectives on socio-hydrology: Capturing feedbacks between physical and social processes.** *Water Resour Res* 2015, **51**:4770–4781.

69. Troy TJ, Pavao-Zuckerman M, Evans TP: **Debates-Perspectives on socio-hydrology: Socio-hydrologic modeling: Tradeoffs, hypothesis testing, and validation.** [date unknown], doi:10.1002/2015WR017046.
70. Costanza R, Voinov A, Boumans R, Maxwell T, Villa F, Wainger L, Voinov H: **Integrated Ecological Economic Modeling of the Patuxent River Watershed, Maryland.** *Ecol Monogr* 2002, **72**:203.
71. Boumans R, Roman J, Altman I, Kaufman L: **The Multiscale Integrated Model of Ecosystem Services (MIMES): Simulating the interactions of coupled human and natural systems.** 2015, doi:10.1016/j.ecoser.2015.01.004.
72. Mohor GS, Rodriguez DA, Tomasella J, Siqueira Júnior JL: **Exploratory analyses for the assessment of climate change impacts on the energy production in an Amazon run-of-river hydropower plant.** *J Hydrol Reg Stud* 2015, **4**:41–59.
73. Bonner TH, Wilde GR: **Changes in the Canadian River Fish Assemblage Associated with Reservoir Construction.** *J Freshw Ecol* 2000, **15**:189–198.
74. Rodríguez Ruiz A, A.: **Fish species composition before and after construction of a reservoir on the Guadalete River (SW Spain).** *Fundam Appl Limnol* 1998, **142**:353–369.
75. Lima MAL, Kaplan DA, Doria CRD, Leite Lima MA, Kaplan DA, da Costa Doria CR: **Hydrological controls of fisheries production in a major Amazonian tributary.** *Ecology* 2017, **10**:e1899.
76. Van Damme P, Córdova-Clavijo L, Baigún C, Hauser M, Doria CRC, Duponchelle F: **Upstream dam impacts on goliath catfish (*Brachyplatystoma rousseauxii*) populations in the Bolivian Amazon.** *Neotrop ichthyology* 2019, In press.
77. Santos RE, Pinto-Coelho RM, Fonseca R, Simões NR, Zanchi FB: **The decline of fisheries on the Madeira River, Brazil: The high cost of the hydroelectric dams in the Amazon Basin.** *Fish Manag Ecol* 2018, **25**:380–391.
78. Isaac VJ, Almeida MC, Giarrizzo T, Deus CP, Vale R, Klein G, Begossi A: **Food consumption as an indicator of the conservation of natural resources in riverine communities of the Brazilian Amazon.** 2015, **87**:2229–2242.

79. Pinto MDS, Doria CRC, Marques EE: **Alterações temporais sobre a estrutura funcional das assembleias de peixes durante onze anos de formação de um reservatório do médio rio Tocantins, Brasil.** *Biota Amaz* 2019, **9**.
80. Melo T, Torrente-Vilara G, Röpke CP: **Flipped reducetarianism: A vegan fish subordinated to carnivory by suppression of the flooded forest in the Amazon.** *For Ecol Manage* 2019, **435**:138–143.
81. Carvalho A, Marques E: **Mitigação de injúrias e mortandade de peixes em turbinas e vertedouros de hidrelétricas: meta-síntese de pesquisas científicas publicadas em periódicos.** *Rev Cereus* 2018, **10**:45–67.
82. Cochrane SMV, Matricardi EAT, Numata I, Lefebvre PA: **Landsat-based analysis of mega dam flooding impacts in the Amazon compared to associated environmental impact assessments: Upper Madeira River example 2006–2015.** *Remote Sens Appl Soc Environ* 2017, **7**:1–8.
83. Silva Junior OM, Aurélio Dos Santos M, Sousa Dos Santos L: **da Silva Junior, O.M., dos Santos, M.A., and dos Santos, L.S. (2018) Spatiotemporal patterns of deforestation in response to the building of the Belo Monte hydroelectric plant in the Amazon Basin.** *Interciencia* 2018, **43**:80–84.
84. Jiang X, Lu D, Moran E, Calvi MFMF, Dutra LV, Li G: **Examining impacts of the Belo Monte hydroelectric dam construction on land-cover changes using multitemporal Landsat imagery.** *Appl Geogr* 2018, **97**:35–47.
85. Montoya AD V., Lima AMM, Adami M: **Mapping and Temporary Analysis of the Landscape in the Tucuruí-PA Reservoir Surroundings.** *Anuário do Inst Geociências - UFRJ* 2018, **41**:553–567.
86. Chen G, Powers RP, de Carvalho LMT, 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* 2015, **63**.
87. Barreto P, Brandão Junior A, Baima S, Souza C: **O risco de desmatamento associado a doze hidrelétricas na Amazônia.** 2014:149–175.
88. Jones IL, Peres CA, Benchimol MM, Bunnefeld L, Dent DH: **Instability of insular tree communities in an Amazonian mega-dam is driven by impaired recruitment and altered species composition.** *J Appl Ecol* 2019, **56**:779–791.

89. Rocha Duarte Neves J, Fernandez Piedade MT, Faria de Resende A, Oliveira Feitosa Y, Schöngart J: **Impact of climatic and hydrological disturbances on blackwater floodplain forests in Central Amazonia.** *Biotropica* 2019, doi:10.1111/btp.12667.
90. Lobo G de S, Wittmann F, Fernandez Piedade MT: **Response of black-water floodplain (igapo) forests to flood pulse regulation in a dammed Amazonian river.** *For Ecol Manage* 2019, **434**:110–118.
91. Assahira C, Resende AF de, Trumbore SE, Wittmann F, Cintra BBL, Batista ES, Piedade MTF, Trumbore SE, Wittmann F, Cintra BBL, et al.: **Tree mortality of a flood-adapted species in response of hydrographic changes caused by an Amazonian river dam.** *For Ecol Manage* 2017, **396**:113–123.
92. Benchimol M, Peres CA: **Edge-mediated compositional and functional decay of tree assemblages in Amazonian forest islands after 26 years of isolation.** *J Ecol* 2015, **103**:408–420.
93. de Resende AF, Schongart J, Streher AS, Ferreira-Ferreira J, Fernandez Piedade MT, Freire Silva TS, Resende AF de, Schöngart J, Streher AS, Ferreira-Ferreira J, et al.: **Massive tree mortality from flood pulse disturbances in Amazonian floodplain forests: The collateral effects of hydropower production.** *Sci Total Environ* 2019, **659**:587–598.
94. Hyde JL, Bohlman SA, Valle D: **Transmission lines are an under-acknowledged conservation threat to the Brazilian Amazon.** *Biol Conserv* 2018, **228**:343–356.
- ** Sintetiza a escala espacial dos impactos das linhas de transmissão na Amazônia, quantificando quase 40.000 km de linhas de transmissão e distribuição e a área impactada duas vezes o tamanho dos reservatórios inundados.
95. Lees AC, Peres CA, Fearnside PM, Schneider M, Zuanon JAS: **Hydropower and the future of Amazonian biodiversity.** *Biodivers Conserv* 2016, **25**:451–466.
96. Bueno AS, Dantas SM, Pinto Henriques LM, Peres CA, Henriques LMP, Peres CA: **Ecological traits modulate bird species responses to forest fragmentation in an Amazonian anthropogenic archipelago.** *Divers Distrib* 2018, **24**:387–402.
97. Aurelio-Silva M, Anciaes M, Pinto Henriques LM, Benchimol MM, Peres CA, Aurélio-Silva M, Anciães M, Henriques LMP, Benchimol MM, Peres CA: **Patterns of local**

- extinction in an Amazonian archipelagic avifauna following 25 years of insularization.** *Biol Conserv* 2016, **199**:101–109.
98. Benchimol M, Peres CA: **Predicting local extinctions of Amazonian vertebrates in forest islands created by a mega dam.** *Biol Conserv* 2015, **187**.
99. Palmeirim AF, Benchimol MM, Vieira MVV, Peres CA: **Small mammal responses to Amazonian forest islands are modulated by their forest dependence.** *Oecologia* 2018, **187**:191–204.
100. Storck-Tonon D, Peres CA: **Forest patch isolation drives local extinctions of Amazonian orchid bees in a 26 years old archipelago.** *Biol Conserv* 2017, **214**:270–277.
101. Palmeirim AF, Vieira MVV, Peres CA: **Non-random lizard extinctions in land-bridge Amazonian forest islands after 28 years of isolation.** *Biol Conserv* 2017, **214**:55–65.
102. Nepstad DC, Stickler CM, Filho BS-, Merry F: **Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point.** *Philos Trans R Soc B Biol Sci* 2008, **363**:1737–1746.
103. Bro AS, Moran E, Calvi MF: **Market Participation in the Age of Big Dams: The Belo Monte Hydroelectric Dam and Its Impact on Rural Agrarian Households.** *Sustainability* 2018, **10**.
104. Fearnside PM: **Emissions from tropical hydropower and the IPCC.** *Environ Sci Policy* 2015, **50**.
- ** Discute como as emissões de GHG (especialmente metano) das usinas hidrelétricas tropicais a longo prazo são contraditórias aos acordos climáticos de Paris.
105. Fearnside PM: **Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams in tropical forests.** In *Alternative Energy and Shale Gas Encyclopedia*. Edited by Lehr J, Keeley J. John Wiley & Sons Publishers; 2016:428–438.
106. Nobre CA, Sampaio G, Borma LS, Castilla-Rubio JC, Silva JSJS, Cardoso M, Davidson EA, Dolman J: **Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm.** *Pnas* 2016, **113**:10759–10768.

107. Fonseca A, Sánchez LE, Ribeiro JCJ: **Reforming EIA systems: A critical review of proposals in Brazil.** *Environ Impact Assess Rev* 2017, **62**:90–97.
108. Duarte CG, Dibo APA, Sánchez LE: **What does the academic research say about impact assessment and environmental licensing in Brazil?** *Ambient e Soc* 2017, **20**.
109. Mazzei CA, Marangoni TT, de Oliveira JN: **Quantitative analysis of environmental impact assessments of hydroelectric power plants on the IBAMA database and evaluation of the hydrological parameters used.** *Eng Sanit E Ambient* 2018, **23**:425–429.
110. ANEEL: **Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico - SIGEL.** 2019.
111. TCU Tribunal de Contas da Uniao: **Acórdão 2.723/2017.**
112. Lucena AFP, Hejazi M, Vasquez-Arroyo E, Turner S, Koberle AC, Daenzer K, Rochedo PRR, Kober T, Cai Y, Beach RH, et al.: **Interactions between climate change mitigation and adaptation: The case of hydropower in Brazil.** *ENERGY* 2018, **164**:1161–1177.
- * Mostra que os impactos das mudanças climáticas podem levar a maiores emissões na ausência de políticas de mitigação das mudanças climáticas no planejamento e operação das hidrelétricas. Os esforços de mitigação poderiam produzir uma combinação mais diversificada e menos intensiva de carbono de opções tecnológicas para adaptação.
113. de Souza Dias V, Pereira da Luz M, Medero GM, Tarley Ferreira Nascimento D, de Souza Dias V, Pereira da Luz M, Medero GM, Tarley Ferreira Nascimento D, Dias V de S, da Luz MP, et al.: **An overview of hydropower reservoirs in Brazil: Current situation, future perspectives and impacts of climate change.** Multidisciplinary Digital Publishing Institute; 2018.
114. Lucas EC, Mendes-Da-Silva W: **Impact of climate on firm value: Evidence from the electric power industry in Brazil.** *Energy* 2018, **153**:359–368.
115. Fernandes G, Gomes LL, Teixeira Brandao LE: **A risk-hedging tool for hydro power plants.** *Renew Sustain Energy Rev* 2018, **90**:370–378.

116. Hunt JD, Byers E, Riahi K, Langan S: **Comparison between seasonal pumped-storage and conventional reservoir dams from the water, energy and land nexus perspective.** *Energy Convers Manag* 2018, **166**:385-401.
117. de Faria FAM, Jaramillo P: **The future of power generation in Brazil: An analysis of alternatives to Amazonian hydropower development.** *Energy Sustain Dev* 2017, **41**:24-35.
118. Callegari C, Szklo A, Schaeffer R: **Cost overruns and delays in energy megaprojects: How big is big enough?** *Energy Policy* 2018, **114**:211-220.
- ** Apresenta estimativas quantitativas do custo de excedentes e atrasos na construção das barragens de Santo Antônio, Jirau e Belo Monte, concluindo que os megaprojetos não conseguem entregar as economias de escala incorporadas em grandes projetos, porque a exposição ao risco é desproporcional às economias financeiras que podem gerar .
119. Ansar A, Flyvbjerg B, Budzier A, Lunn D: **Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development.** *Energy Policy* 2014, **69**:43-56.
120. World Commission on Dams (WCD): *Dams and Development: A new framework for decision-making.* Earthscan; 2000.
121. Kirchherr J, Charles KJ: **The social impacts of dams: A new framework for scholarly analysis.** *Environ Impact Assess Rev* 2016, **60**:99-114.
- * Presents a framework to inform scholarly analyses of social impacts of hydroelectric dams.
122. dos Santos MC: **The concept of "affected people" by dams - human rights and citizenship.** *Direito e Prax* 2015, **6**:113-140.
123. Athayde S, Moreira PFF, Heckenberger M: **Public feedback at risk in Brazil.** *Science (80-)* 2016, **353**:1217-1217.
124. Doria CRC, Athayde S, Marques EE, Leite Lima MA, Dutka-Gianelli J, Ruffino ML, Kaplan D, Freitas CEC, Isaac VN: **The invisibility of fisheries in the process of hydropower development across the Amazon.** *Ambio* 2018, **47**:453-465.

125. Del Bene D, Scheidel A, Temper L: **More dams, more violence? A global analysis on resistances and repression around conflictive dams through co-produced knowledge.** *Sustain Sci* 2018, **13**.
126. Castro E: **Production of knowledge about hydroelectric dams in the social sciences in Brazil.** *Novos Cad NAEA* 2018, **21**:31-59.
127. Luzia Ferraco A: **Belo Monte dam: a case for third generation rights legitimacy.** *Rev Andin Estud Polit* 2018, **8**:104-122.
128. Riethof M: **The international human rights discourse as a strategic focus in socio-environmental conflicts: the case of hydro-electric dams in Brazil.** *Int J Hum RIGHTS* 2017, **21**:482-499.
129. Heiskel TM: **Recognizing women in the struggle for social and environmental justice in the context of the Belo Monte hydropower dam in the Brazilian Amazon.** MS Thesis, Norwegian University of Life Sciences, 2016.
130. Castro-Diaz L, Lopez MC, Moran E: **Gender-Differentiated Impacts of the Belo Monte Hydroelectric Dam on Downstream Fishers in the Brazilian Amazon.** *Hum Ecol* 2018, **46**.
- * Apresenta evidências de impactos diferenciados por gênero da barragem de Belo Monte em mulheres pescadoras deslocadas que não foram consultadas nem compensadas por suas perdas.
131. Athayde S: **Introduction : Indigenous Peoples , Dams and Resistance in Brazilian Amazonia.** *Tipiti J Soc Anthropol Lowl South Am* 2014, **12**:80-92.
132. Zanotti L: **Water and life: hydroelectric development and Indigenous pathways to justice in the Brazilian Amazon.** *Polit Groups Identities* 2015, **3**:666-672.
133. Fórum Teles Pires: *Barragens e Povos Indígenas no Rio Teles Pires: Características e Consequências de Atropelos no Planejamento, Licenciamento e Implantação das UHEs Teles Pires e São Manoel.* 2017.
134. Randell H: **Forced Migration and Changing Livelihoods in the Brazilian Amazon.** *Rural Sociol* 2017, **82**:548-573.

135. Alonso S: **Belo Monte e a questão indígena.** *Novos Cad NAEA* 2015, doi:10.5801/ncn.v18i2.2510.
136. Walker R, Simmons C: **Endangered Amazon: An Indigenous Tribe Fights Back Against Hydropower Development in the Tapajós Valley.** *Environ Sci Policy Sustain Dev* 2018, **60**:4-15.
137. McCormick S: **The Brazilian Anti-Dam Movement: Knowledge Contestation as Communicative Action.** *Organ Environ* 2006, **19**:321-346.
138. Ipereg Ayu: **Protocolo de Consulta Munduruku.** 2016.
139. Garzón BR, Yamada E, Oliveira R, Cerqueira D, Grupioni LDB: *Obstacles and Resistance to the Process of Implementing the Right to Free, Prior and Informed Consultation and Consent in Brazil.* 2016.
140. ILO - International Labour Organization: **Indigenous and Tribal Peoples Convention 169, 1989.**
141. Doria CRC, Athayde S, Dutka-Gianelli J, Luiz AMT: *Seminário e Oficina Internacional Brasil, Bolívia e Peru: Desafios Nacionais e Internacionais de Gestão dos Recursos Pesqueiros na Bacia do Madeira.* 2018.
142. Laufer J, Athayde S, Moreira PF, Soares LRR, Busquets M, Giralдин O, Marques EE, Medeiros AF, Mesquita EM, Setúbal S, et al.: *Gestão Participativa da Biodiversidade em Terras Indígenas afetadas por Barragens Hidrelétricas na Amazônia Brasileira - Relatório Técnico Oficina Tocantína.* 2016.
143. Schmitz Nunes MU, Hallwass G, Matias Silvano RA: **Fishers' local ecological knowledge indicate migration patterns of tropical freshwater fish in an Amazonian river.** *Hydrobiologia* 2019, **833**:197-215.
144. Gauthier C, Lin Z, Peter BG, Moran EF: **Hydroelectric Infrastructure and Potential Groundwater Contamination in the Brazilian Amazon: Altamira and the Belo Monte Dam.** *Prof Geogr* 2019, **71**:292-300.
145. Queiroz ARS De, Motta-Veiga M: **Análise dos impactos sociais e à saúde de grandes empreendimentos hidrelétricos: lições para uma gestão energética sustentável.** *Cien Saude Colet* 2012, **17**:1387-1398.

146. Gauthier C, Moran EF: **Public policy implementation and basic sanitation issues associated with hydroelectric projects in the Brazilian Amazon: Altamira and the Belo Monte dam.** *Geoforum* 2018, doi:10.1016/j.geoforum.2018.10.001.
147. Simão BP, Athayde S: **Resiliência socioecológica em comunidades deslocadas por hidrelétricas na Amazônia: o caso de Nova Mutum Paraná, Rondônia.** *Sustentabilidade em Debate* 2016, 7:104.
148. Begossi A, Salivonchyk S V, Hallwass G, Hanazaki N, Lopes PFM, Silvano RAM, Dumaresq D, Pittock J, Salivonchyk V S, Hallwass G, et al.: **Fish consumption on the Amazon: a review of biodiversity, hydropower and food security issues.** *Brazilian J Biol* 2019, 79:368–368.
149. Abe KC, El Khouri Miraglia SG: **Dengue incidence and associated costs in the periods before (2000-2008) and after (2009-2013) the construction of the hydroelectric power plants in Rondonia, Brazil.** *Epidemiol e Serv Saude* 2018, 27.
150. Valle D, Lima JMT: **Large-scale drivers of malaria and priority areas for prevention and control in the Brazilian Amazon region using a novel multi-pathogen geospatial model.** *Malar J* 2014, 13.
151. Hacon SS, Dorea JG, Fonseca M de F, Oliveira BA, Mourao DS, Ruiz CM V, Goncalves RA, Mariani CF, Bastos WR: **The Influence of Changes in Lifestyle and Mercury Exposure in Riverine Populations of the Madeira River (Amazon Basin) near a Hydroelectric Project.** *Int J Environ Res Public Health* 2014, 11:2437–2455.
152. Égré D, Roquet V, Durocher C: **Monetary benefit sharing from dams: A few examples of financial partnerships with Indigenous communities in Québec (Canada).** *Int J River Basin Manag* 2007, 5:235–244.
153. Tundisi JG, Goldemberg J, Matsumura-Tundisi T, Saraiva ACF: **How many more dams in the Amazon.** *Energy Policy* 2014, 74.
154. Atkins E: **Dammed and diversionary: The multi-dimensional framing of Brazil's Belo Monte dam.** *Singap J Trop Geogr* 2017, 38:276–292.
155. Ahlers R, Budds J, Joshi D, Merme V, Zwartveen M: **Framing hydropower as green energy: assessing drivers, risks and tensions in the Eastern Himalayas.** *Earth Syst Dynam* 2015, 6:195–204.

156. Scudder T, Gay J: A Comparative Survey of Dam-induced Resettlement in 50 Cases. In: T. Scudder. **The Future of Large Dams: dealing with social, environmental, institutional and political costs.** 2005
157. Zarfl C, Lumsdon AE, Berlekamp J, Tydecks L, Tockner K: **A global boom in hydropower dam construction.** *Aquat Sci* 2014, **77**:161–170.
158. Aeria A: **Economic Development via Dam Building: The Role of the State Government in the Sarawak Corridor of Renewable Energy and the Impact on Environment and Local Communities.** *373 Southeast Asian Stud* 2016, **5**:373–412.
159. Pulice SMP, Roquetti DR, Gomes CS, Moretto EM: **Usinas Hidrelétricas e Desenvolvimento Municipal: O Caso das Usinas Hidrelétricas do Complexo Pelotas-Uruguaí.** *Rev Gestão Ambient e Sustentabilidade* 2017, **6**:150–163.
160. Pulice SMP, Moretto EM: **the Financial Compensation and the Development of Brazilian Municipalities Flooded By Hydroelectric Dams.** *Ambient Soc* 2018, **20**:103–126.
161. Assunção, J, Szerman, D, Costa F: *Efeitos locais de Hidrelétricas no Brasil.* INPUT/Climate Policy Initiative, 2016.
162. de Faria FAMM, Davis A, Severnini E, Jaramillo P: **The local socio-economic impacts of large hydropower plant development in a developing country.** *Energy Econ* 2017, **67**:533–544.
163. Pulice SMP, Branco EA, Gallardo ALCF, Roquetti DR, Moretto EM: **Evaluating Monetary-Based Benefit-Sharing as a Mechanism to Improve Local Human Development and its Importance for Impact Assessment of Hydropower Plants in Brazil.** *J Environ Assess Policy Manag* 2019, **21**:1950003.
164. Randell H: **The short-term impacts of development-induced displacement on wealth and subjective well-being in the Brazilian Amazon.** *World Dev* 2016, **87**:385–400.
165. Tilt B, Braun Y, He D: **Social impacts of large dam projects: A comparison of international case studies and implications for best practice.** *J Environ Manage* 2009, **90**:S249–S257.

166. Cernea MM: **Development and Population Displacement**. *Collect Glob Course Syllabi Relat to Internally Displac Pers* 2004.
167. Vanclay F: **Conceptualising social impacts**. *Environ Impact Assess Rev* 2002, **22**:183–211.
168. Sánchez LE, Mitchell R: **Conceptualizing impact assessment as a learning process**. *Environ Impact Assess Rev* 2017, **62**:195–204.
- * Explora como os desenvolvedores do projeto e seus consultores, reguladores governamentais e partes interessadas podem aprender com o processo de avaliação de impacto, desenvolvendo normas e valores orientados à sustentabilidade.
169. Kirchherr J, Pohlner H, Charles KJ: **Cleaning up the big muddy: A meta-synthesis of the research on the social impact of dams**. *Environ Impact Assess Rev* 2016, **60**:115–125.
170. Brown PH, Tullos D, Tilt B, Magee D, Wolf AT: **Modeling the costs and benefits of dam construction from a multidisciplinary perspective**. *J Environ Manage* 2009, **90**:S303–S311.
171. UN. United Nations Organization/ IPBES.: **Indigenous and Local Knowledge Systems (deliverable 1 (c)). IPBES/5/4**. 2016.

Tabela 2. Principais avanços e lacunas de conhecimento em pesquisas sobre desenvolvimento hidrelétrico na Amazônia Brasileira, organizados por meio de campos disciplinares interdisciplinares para 339 publicações obtidas na base Web Of Science para o período de 2014–2019.

Tópicos interdisciplinares	Principais temas	Avanços	Lacunas	Categorias disciplinares da base WOS	Referências
Processos biofísicos e socioecológicos	Hidrologia e geomorfologia	- Barragens existentes tem um impacto significativo no regime hidrológico em toda a Amazônia - Barragens de planície com grandes reservatórios causam maiores alterações	- Impactos ecológicos cumulativos de pequenas e grandes barragens no regime de vazão e transporte de sedimentos / nutrientes - Acoplar modelos de bacias	Ciências / Estudos Ambientais, Recursos Hídricos, Geociências, Meteorologia e Ciências Atmosféricas	[2] [10] [11] [13] [49]

Tópicos interdisciplinares	Principais temas	Avanços	Lacunas	Categorias disciplinares da base WOS	Referências
		<p>hidrológicas, mas pequenas barragens estão aumentando rapidamente e causando grandes impactos por quantidade de eletricidade produzida</p> <p>- Barragens andinas existentes e planejadas ameaçam a conectividade, com grandes impactos nos peixes, sedimentos e nutrientes</p> <p>- Um índice de vulnerabilidade a barragens foi criado para orientar futuro desenvolvimento da energia hidrelétrica na Amazônia</p>	<p>hidrográficas a modelos de mudança climática e modelos de estrutura, função e serviços específicos de ecossistemas</p> <p>- Incerteza sobre a gama de possíveis impactos climáticos futuros sobre tendências espaço-temporais no fluxo dos rios</p> <p>- Potencial para o desenho de barragens ou técnicas de gerenciamento de sedimentos para mitigar a sua captura</p>		
Processos biofísicos e socioecológicos	Peixes e Pesca	<p>- Maior conhecimento sobre a diversidade de peixes de água doce ameaçados por barragens existentes e planejadas em todo o mundo</p> <p>- Conectividade Andes-Amazônia ameaçada por barragens</p> <p>- Diminuição da pesca observada a montante e a jusante dos principais projetos de barragens</p>	<p>- Elucidar relações entre espécies e/ou ecologia de fluxo específicas de grupos funcionais</p> <p>- Escassez de dados da ictiofauna, tanto na disponibilidade espaço-temporal quanto em impactos socioeconômicos nos meios de subsistência de pescadores e comunidades reassentadas, inclusive através</p>	Ecologia, Pesca, Conservação da Biodiversidade	[3] [10] [33] [76-79] [81]

Tópicos interdisciplinares	Principais temas	Avanços	Lacunas	Categorias disciplinares da base WOS	Referências
		<p>- Principais impactos das perdas relacionadas a pesca nos sistemas econômico, social e cultural</p> <p>- Poder explicativo limitado do controle hidrológico na produção pesqueira</p>	<p>de perspectivas de gênero e intergeracionais</p> <p>- Tecnologias de passagem de peixes relevantes para espécies e reservatórios tropicais</p>		
<p>Processos biofísicos e socioecológicos</p>	<p>Feedbacks dos ecossistemas terrestres</p>	<p>- Mudanças diretas e indiretas no uso da terra ocorrem devido à inundação de reservatórios, desmatamento, mudanças na hidrologia das matas ciliares e várzeas, e infraestrutura associada à energia</p> <p>- Os impactos das linhas de transmissão provavelmente excedem os impactos dos reservatórios (por área) e são pouco reconhecidos no planejamento e gerenciamento de barragens</p> <p>- Feedbacks acoplados entre barragens e desmatamento podem exacerbar as conexões entre perda florestal e clima, incêndio e vazão dos rios</p>	<p>- A pesquisa tende a se concentrar em uma única barragem, precisa considerar impactos cumulativos de outras barragens e fatores de mudança</p> <p>- Os mecanismos pelos quais as barragens impactam indiretamente as florestas, a cobertura da terra e os meios de subsistência precisam ser melhor compreendidos para prever, gerenciar e mitigar esses impactos.</p> <p>- Necessidade de estudar os impactos associados das mudanças no uso da terra, mudanças climáticas e</p>	<p>Ciências / Estudos Ambientais, Geociências, Meteorologia e Ciências Atmosféricas, Ecologia</p>	<p>[12] [48] [77 - 78] [82-87] [94] [102]</p>

Tópicos interdisciplinares	Principais temas	Avanços	Lacunas	Categorias disciplinares da base WOS	Referências
			desenvolvimento de energia hidrelétrica na produção e transporte de sedimentos		
Processos biofísicos e socioecológicos	Mudanças climáticas	<p>- Os reservatórios tropicais podem ser uma importante fonte de metano, exacerbando o aquecimento global</p> <p>- A seleção do período de referência é crítica para o cálculo do potencial de aquecimento líquido da produção de eletricidade baseada em hidrelétricas</p> <p>- As projeções climáticas globais projetam mudanças espacialmente variáveis nos regimes de precipitação, evapotranspiração e fluxo, com a maior parte das secas no sul e sudeste</p> <p>- Mudanças climáticas podem aumentar os fluxos e inundações no noroeste da Amazônia e diminuir os fluxos no leste da Amazônia</p>	<p>- Necessidade de criar modelos climáticos regionais que incluam feedbacks entre desenvolvimento de hidrelétricas, desmatamento, emissões de reservatórios, regimes de aquecimento e precipitação</p> <p>- Os impactos dos cálculos das emissões de gases de efeito estufa e a incerteza não estão representados nas políticas públicas</p> <p>- O fluxo de metano da desgaseificação da barragem e os fluxos a jusante</p> <p>- A contabilização líquida de carbono do ciclo de vida das hidrelétricas tropicais permanece muito debatida nas arenas de literatura e política</p>	Ciências / Estudos Ambientais, Meteorologia e Ciências Atmosféricas, Ciências multidisciplinares, Energia e combustíveis, Ecologia, Conservação da Biodiversidade	[15] [102] [104-106]
	Cenários de energia;	- Oportunidades para melhorar	- Boas práticas em avaliação de	Ciências Ambientais,	[5] [13 - 14]

Tópicos interdisciplinares	Principais temas	Avanços	Lacunas	Categorias disciplinares da base WOS	Referências
Energia e Infraestrutura	alternativas e cruzamentos com outras opções de infraestrutura e geração de energia; interseções entre geração de eletricidade e mudanças climáticas; eficiência energética; ferramentas tecnológicas; viabilidade e localização de barragens, criticismo das barragens como energia limpa; e políticas públicas	processos de licenciamento e instrumentos de avaliação de impacto socioambiental - Escassez de pesquisas sobre pequenas barragens na Amazônia - As linhas de transmissão não são integradas ao planejamento de energia hidrelétrica - Os impactos das mudanças climáticas podem levar a maiores emissões e custos mais altos, na ausência de políticas de mitigação climática no planejamento das hidrelétricas - Investir em eficiência energética, inovações e fontes alternativas de geração de energia pode contribuir para diminuir a dependência e os riscos do sistema termo-hídrico - As estimativas de excedentes de custos e atrasos na construção das barragens de Jirau, Santo Antônio e Belo Monte totalizaram 91%, 64% e 70%	impacto cumulativo em escala regional e de bacia, considerando outros projetos de infraestrutura e políticas e programas relevantes - Desenvolvimento de ferramentas para melhorar o acesso a dados e informações / participação do público na tomada de decisões - Avaliação e planejamento integrados para pequenas e grandes hidrelétricas, incluindo linhas de transmissão - Trade-offs (perdas e ganhos) entre diversas opções e arranjos energéticos de acordo com a perspectiva de diferentes atores - Avaliação pluralista (multi-perspectivas) na avaliação de impacto ambiental - Modelagem integrada de mudanças climáticas, produção de energia de várias fontes, custos e riscos	Tecnologia de Ciência Sustentável Verde, Engenharia Ambiental e Energia e Combustíveis	[18] [94] [111-112] [117-119] [168]

Tópicos inter-disciplinares	Principais temas	Avanços	Lacunas	Categorias disciplinares da base WOS	Referências
		acima do orçamento inicial	<ul style="list-style-type: none"> - Investigações sobre o custo da corrupção para megaprojetos - Investigação de excedentes de custos e atrasos nos projetos 		
Governança, desenvolvimento, impactos e benefícios sociais das hidrelétricas	Saúde pública e saneamento, doenças infecciosas, psicologia e contaminação da água, impactos socioeconômicos e culturais, distribuição de custos e benefícios, movimentos sociais, conflitos sociais, impactos psicológicos e perdas simbólicas, direitos humanos, deslocamento forçado pelo desenvolvimento e reassentamento, e políticas públicas	<ul style="list-style-type: none"> - As barragens contribuem para desencadear surtos de doenças infecciosas, cujos riscos e custos não são contabilizados durante o planejamento e licenciamento dos projetos - A falta de dados restringe a capacidade de distinguir entre impactos positivos e negativos, padrões, especificidades e processos cumulativos de impacto social nas escalas local, regional e na escala de bacia - As barragens de Belo Monte e Madeira levaram a conflitos sociais, judicialização, violação de direitos humanos, impactos diferenciados por gênero e destruição dos meios de vida de povos indígenas e das comunidades locais 	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar lacunas nas políticas públicas que afetam surtos de doenças infecciosas ligadas a saneamento básico e recursos hídricos para informar o planejamento - Desenvolver estudos focados em como diferentes pessoas (mulheres, crianças, idosos e diversos grupos culturais) podem ser impactadas de maneira diferente por barragens - Impactos sociais em geral: dificuldade em definir quem é “afetado” por barragens, o que tem implicações socioeconômicas, de direitos e de justiça socioambiental - Os estudos são realizados na escala de projeto, mas os efeitos são sistêmicos e cumulativos 	Medicina Tropical, Ciências Sociais Interdisciplinares, Parasitologia, Ciências Ambientais e Estudos Ambientais, Geografia, Economia, Direito e Estudos do Desenvolvimento	<p>[30]</p> <p>[34-35]</p> <p>[125]</p> <p>[130;</p> <p>134]</p> <p>[144-146]</p> <p>[159-164]</p>

Tópicos interdisciplinares	Principais temas	Avanços	Lacunas	Categorias disciplinares da base WOS	Referências
		<p>As comunidades locais não têm acesso às informações produzidas por pesquisadores e cientistas</p> <p>- O conhecimento indígena e local não é considerado no planejamento e tomada de decisão da energia hidrelétrica na Amazônia brasileira</p> <p>- Os benefícios das barragens são alcançados na escala nacional, enquanto os custos são sentidos nas escalas local e regional</p> <p>- Benefícios socioeconômicos e impactos negativos são complexos, ocorrem através de múltiplas escalas espaço-temporais e envolvem múltiplas dimensões</p>	<p>- Compreensão das interconexões entre deslocamento forçado e processos socioeconômicos a montante e a jusante de barragens</p> <p>- Estudos integrados, passando de uma abordagem projeto por projeto para uma escala regional e sistêmica</p>		