



Por que *não* continuar construindo hidrelétricas na Amazônia brasileira? Contribuições para uma matriz elétrica renovável e efetivamente sustentável

Angélica Faria de Resende^{1*}; Erika Ferreira Rodrigues²; Flora Magdaline Benitez Romero³; Gabriel Costa Borba^{4*}; Igor Cavallini Johansen⁵; Luiza Santos Reis²; Marina Ghirotto Santos²; Songila Maria da Silva Rocha Doi⁶

¹ Universidade de São Paulo (USP), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Piracicaba, Brasil – gel.florestal@gmail.com

² Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brasil – erikarodrigues123rodrigues@gmail.com, luiza_sreis@yahoo.com.br, marina.ghirotto@gmail.com

³ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas, Brasil – benitezmagdaline@gmail.com

⁴ Virginia Polytechnic Institute and State University (Virginia Tech), Blacksburg, Virginia, EUA – gabrielborba@vt.edu

⁵ Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo, Brasil – igorcav@unicamp.br

⁶ Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco, Brasil – songila35@gmail.com

* Angélica Faria de Resende – gel.florestal@gmail.com

* Gabriel Costa Borba – gabrielcostaborba@gmail.com

RESUMO

A geração de energia elétrica por meio de grandes empreendimentos hidrelétricos é frequentemente apontada como uma fonte renovável, porém sua sustentabilidade é questionável. Na Amazônia, esses empreendimentos acarretam sérias ameaças aos modos de vida de comunidades indígenas e tradicionais, além de causarem danos significativos à fauna e à flora da região onde são instalados. Paradoxalmente, enquanto populações locais sofrem com a falta de acesso à energia elétrica, a produção gerada na Amazônia é majoritariamente direcionada para outras regiões do Brasil. O presente artigo propõe uma análise crítica sobre a construção de hidrelétricas na Amazônia brasileira, partindo da indagação fundamental: **Por que não continuar construindo grandes hidrelétricas na Amazônia brasileira?** Com base nisso, detalhamos o cenário ideal – inalcançável, portanto –, em que haveria tal possibilidade. Os elementos deste cenário seriam: (1) Garantir desmatamento zero, (2) Oferecer compensações efetivas às populações humanas direta ou indiretamente impactadas, (3) Realizar restauração ecológica, (4) Considerar cenários climáticos futuros, (5) Manter o pulso de inundação natural do rio (regime de vazão), (6) Assegurar a autonomia da população direta ou indiretamente impactada para optar pela construção ou não de uma hidrelétrica, e (7) Manter o grau de endemismo da fauna e da flora locais. Contudo, uma análise dos projetos já em andamento, em construção ou planejados revela que esses critérios não são respeitados integralmente, tampouco são passíveis de serem cumpridos. Isso torna a construção de hidrelétricas na Amazônia brasileira absolutamente inviável. Para garantir o acesso à energia elétrica em áreas isoladas da Amazônia, recomendamos direcionar investimentos para fontes energéticas mais sustentáveis, caracterizadas por menores impactos sociais e ambientais, por meio de produção em pequena escala.

Palavras-chave: Amazônia, hidrelétricas, eletricidade, justiça social, impactos ambientais.

Introdução

A crescente expansão das hidrelétricas representa uma das principais ameaças à biodiversidade e aos modos de vida das populações que vivem na região amazônica, seja em áreas urbanas ou rurais (Couto *et al.* 2021). A expansão global de empreendimentos hidrelétricos é impulsionada tanto por ser tida como alternativa aos combustíveis fósseis (Almeida *et al.* 2022) quanto por consistir em fonte renovável de energia, o que supostamente contribuiria no enfrentamento às mudanças climáticas (Fearnside 2019a). Esta expansão ocorre, principalmente, em países com economias emergentes, e a justificativa é a demanda energética para garantir seu desenvolvimento econômico e social (Zarfl *et al.* 2015). Na América do Sul, o enorme potencial hídrico da maior floresta tropical do mundo faz da bacia amazônica um palco teoricamente ideal para a expansão de novas hidrelétricas (Almeida *et al.* 2019). Embora os números exatos variem (Fearnside 2019b), pelo menos 158 barragens com capacidades instaladas individuais superiores a 1 MW estão operando e/ou em construção nas cinco nações que constituem cerca de 90% da bacia amazônica, e outras 351 novas barragens estão em fase de estudos de viabilidade (Flecker *et al.* 2022) (Figura 1).

A construção de grandes hidrelétricas na Amazônia brasileira tem importância para as políticas transnacionais na América do Sul, uma vez que grandes áreas são impactadas, não se restringindo apenas ao Brasil, mas afetando, inclusive, países vizinhos (Fearnside 2019a). Governos de todo o mundo fazem promessas de descarbonização, com metas ambiciosas de redução de emissões e captação de carbono (Mountford *et al.* 2021). Nesse cenário, o Brasil continua alegando ter como trunfo uma matriz elétrica “limpa”, uma vez que produz cerca de 62% da sua energia elétrica a partir de hidrelétricas (ANEEL 2023). Esse discurso alimenta a crença de que hidrelétricas são a melhor solução de fonte renovável, escamoteando a gravidade dos impactos socioambientais negativos causados por megaempreendimentos hidrelétricos (Fearnside 2013, 2017). Na Amazônia brasileira, grandes obras como as usinas de Santo Antônio e Jirau, em Rondônia, e Belo Monte, no Pará, são exemplos emblemáticos dos significativos danos sociais e ambientais causados na região das bacias dos rios Madeira e Xingu, respectivamente (Couto *et al.* 2021).

Os impactos das hidrelétricas sobre a biodiversidade de fauna e flora, assim como sobre populações locais, são subestimados nos Estudos de Impacto Ambiental (EIA), realizados no processo de licenciamento das obras (Fearnside 2019c). Durante a construção, povos tradicionais são deslocados, populações locais desestabilizam-se e florestas são cortadas ou inundadas vivas para a for-

mação de reservatórios, prejudicando a fauna aquática em virtude do aumento da decomposição, liberação de metano e redução da disponibilidade de oxigênio e alimentos (Souza Jr. *et al.* 2019). Depois de alguns anos da instalação da hidrelétrica, os impactos continuam ocorrendo e se ampliando, causando desmatamento nos arredores, mortalidade massiva de florestas alagáveis a jusante (devido aos distúrbios no ciclo hidrológico) e, conseqüentemente, aumento de emissões de gases de efeito estufa. Além disso, resulta em agravos à saúde dos ribeirinhos residentes às margens dos grandes rios, levando à escassez de fonte de recursos (Fearnside 2014; Lees *et al.* 2016; Resende *et al.* 2019; Schöngart *et al.* 2021; Silvano *et al.* 2005).

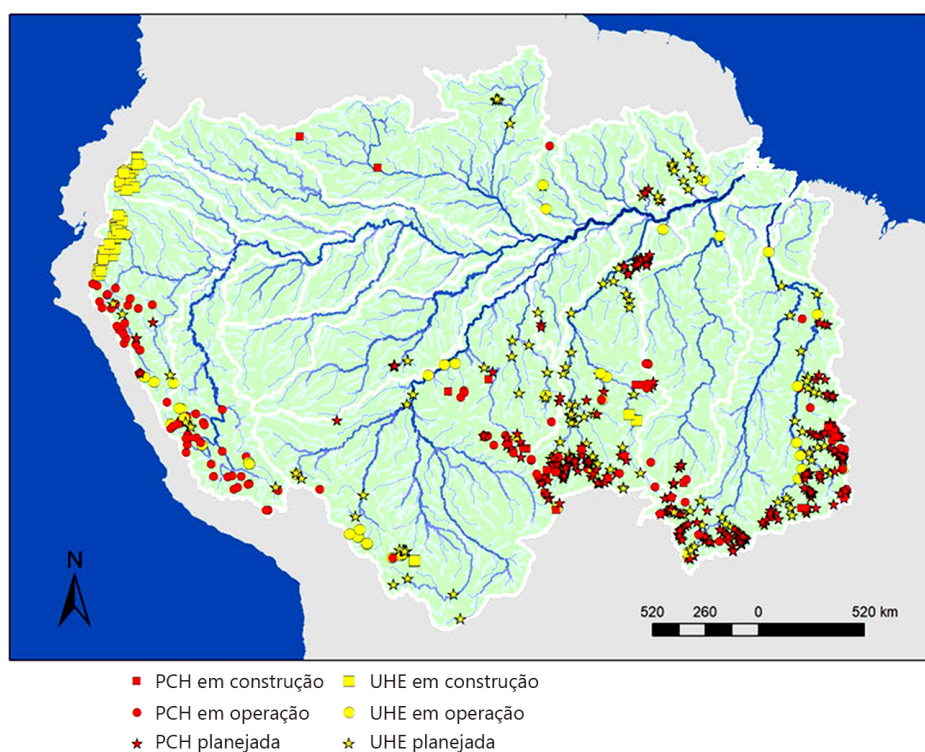


Figura 1 Mapa ilustrativo indicando empreendimentos hidrelétricos na bacia amazônica. Mapa elaborado por Thiago Couto. Disponível em: <https://amazoniacienciaciudadana.org/pt/impactos-pequenas-hidreletricas/>

A energia hidrelétrica produzida pelo método padrão no Brasil pode ser renovável, mas está distante de ser sustentável. Para gerar energia por meio de usinas hidrelétricas convencionais, é necessária a conversão da energia mecânica, gerada pela passagem da água pelas turbinas, em energia elétrica, sendo

mandatário que haja diferença no nível da água para ativar o movimento das turbinas (Bagher *et al.* 2015). Modelos menos impactantes, como o do tipo “fio d’água” instalado nas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau e em Belo Monte, utilizam a correnteza do rio para geração de energia, porém, justamente por não possuírem grandes reservatórios, a produção de eletricidade é reduzida durante períodos com baixa precipitação (Roberts, 1995), que na Amazônia podem durar até sete meses por ano (Carvalho *et al.* 2021; Sombroek 2001). Outro ponto relevante é o fato de que parte significativa da produção das grandes hidrelétricas na Amazônia é direcionada para outras regiões do país.

A energia produzida na Amazônia, e exportada para outras localidades do país, tem altos custos econômicos, sociais e ambientais, que são relegados às populações, fauna e flora locais (Randell & Klein 2021). Ao mesmo tempo, levantamento recente apontou que, na Amazônia, 990 mil pessoas não têm acesso à eletricidade, sendo o Pará o estado com maior número de pessoas sem acesso à energia elétrica (mais de 409 mil residentes) e o Acre aquele com maior proporção de vítimas da exclusão elétrica, que atinge cerca de 10% da sua população (IEMA 2020). Esses excluídos carecem de energia para poder realizar suas atividades cotidianas, como congelar peixes ou polpa de frutas para consumo próprio ou venda, estudar e ter acesso a informações via TV e/ou internet.

Este *white paper*, fruto do grupo de trabalho “Águas livres” da Escola São Paulo de Ciência Avançada AMAZÔNIA Sustentável e Inclusiva (São Pedro-SP, Brasil – 21 de novembro a 05 de dezembro de 2022), faz uma análise dos impactos dos empreendimentos hidrelétricos na Amazônia e elabora um cenário ideal, nunca cumprido e impossível de sê-lo, para a construção de novos empreendimentos, evidenciando, na prática, a razão pela qual *não* se deve seguir construindo hidrelétricas na Amazônia brasileira. O artigo é complementado por uma peça de comunicação dirigida à população brasileira, com dados e informações-chave a respeito dos impactos e custos envolvidos na manutenção e construção de novas hidrelétricas de grande porte na Amazônia brasileira.

Impactos econômicos, ecológicos e sociais de grandes hidrelétricas na Amazônia brasileira

Atualmente, a energia hidrelétrica é considerada a maior fonte de energia renovável em todo o mundo, desempenhando papel importante para o desenvolvimento limpo de baixo carbono (Li & He 2022) e impulsionando o desenvolvimento da indústria de energia elétrica mundial (Edwards 2005). Essa afirma-

ção, contudo, não abrange toda a verdade, uma vez que as hidrelétricas emitem grandes quantidades de carbono (Bertassoli Jr *et al.* 2021; Fearnside 2009), enquanto a eficiência de produção energética pode ser relativamente baixa, como no caso da hidrelétrica de Balbina (Fearnside 1995). O custo de construção das hidrelétricas é elevado, e a grande maioria dos empreendimentos demora mais do que o previsto para sair do papel. Além disso, a energia hidrelétrica causa inquestionáveis impactos ambientais e sociais negativos, principalmente na Amazônia, dada a riqueza e pluralidade da fauna e flora e pelas características socioculturais da região (Moran *et al.* 2018). Esta seção apresentará de forma resumida os principais impactos econômicos, ecológicos e sociais de grandes hidrelétricas na Amazônia brasileira.

Impactos econômicos

Os custos reais de construção de hidrelétricas são difíceis de ser mensurados devido à particularidade da geologia, hidrologia e ecossistemas associados e a fatores sociais da região de instalação, porém é dado que grandes empreendimentos hidrelétricos usualmente superam os custos econômicos estimados (Ansar *et al.* 2014; Sovacool *et al.* 2014). Um estudo sobre a construção de hidrelétricas em escala global analisou 245 grandes barragens, de 1934 a 2007, em 65 países, e mostrou que uma em cada dez hidrelétricas custou mais de três vezes o valor inicialmente estimado (Ansar *et al.* 2014).

O custo de construção de grandes hidrelétricas tende a ser muito elevado, limitando o retorno positivo dos investimentos, mesmo não se levando em consideração os impactos socioambientais da obra (Scudder 2006; Sovacool *et al.* 2014). A título de exemplo, o valor inicial orçado para a hidrelétrica de Belo Monte foi de 19 milhões de reais (Machado *et al.* 2011), porém, no ano de 2019, o seu custo já era de 42 bilhões de reais, com o acionamento da 14ª turbina da casa de força principal. Belo Monte tornou-se a maior hidrelétrica nacional, disponibilizando uma capacidade de 8.788,5 MW e representando o maior projeto de investimento do governo brasileiro nas últimas duas décadas (Agência Brasil 2019). Devido às flutuações do nível do rio Xingu e ao sistema instalado do tipo “fio d’água”, o fator de capacidade (garantia física ou capacidade garantida) é de cerca de 43% da capacidade instalada para a produção energética (Almeida Prado *et al.* 2016). Desse modo, a produção média real é de 4.571 MW e não 11.223,1 MW (Norte Energia 2021, 2022). Apenas em 2019, após quatro anos do início da operação de Belo Monte, a UHE passou a operar com todas as turbinas, tendo produzido, nos anos de 2020 e 2021, uma média de 3445,8 MW, que correspondem a cerca de 75% da capacidade garantida (Norte Energia 2021, 2022). Com a sazonalidade do rio

Xingu, a produção é consideravelmente reduzida nos meses mais secos: no mês de setembro de 2021, a UHE Belo Monte produziu, em média, 431 MW, o que perfaz menos de 11% da capacidade garantida (Norte Energia 2022).

Argumentos a favor da construção de hidrelétricas têm geralmente por base a demanda crescente por eletricidade no país. A demanda nacional por eletricidade teve crescimento projetado em 2,2% ao ano até 2050 (PNE 2050). Contudo, dada a atual situação econômica do país, essa estimativa está superestimada e não acompanha o crescimento projetado. A atual demanda energética pode ser atingida com 48% da capacidade de produção de energia (Tolmasquim *et al.* 2021). Desse modo, é equivocada a construção de novas hidrelétricas na Amazônia tendo como principal justificativa a demanda por energia. A construção de hidrelétricas e sua viabilidade econômica precisam ser reavaliadas, principalmente levando-se em consideração os impactos socioambientais negativos.

Impactos ecológicos

A interrupção do fluxo natural dos rios prejudica a conectividade hidrológica (Vannote *et al.* 1980), resultando na mudança da dinâmica e composição das comunidades aquáticas e terrestres tanto em nível local quanto regional (Fearnside 2013). Além disso, essa interrupção dos rios resulta em mudanças nas características físicas, químicas e biológicas do meio aquático e de ecossistemas na interface terrestre-aquática nas áreas adjacentes às hidrelétricas (Fearnside 2019a). O represamento do rio afeta as condições ambientais a montante (i.e., novo *habitat* dentro do reservatório) e a jusante (i.e., regime de vazão de água alterado) da barragem, fragmentando a conectividade de inundação longitudinal e lateral (Arantes *et al.* 2019). A alteração da hidrodinâmica ocorre juntamente com a mudança na química da água dos lagos de represamento, com excesso de sedimentação dos rios, que não só impacta a produção de energia hidrelétrica – devido à perda de armazenamento do reservatório e/ou danos aos componentes mecânicos da instalação –, mas também o ambiente (Fearnside 2013). O aumento da sedimentação a montante dos barramentos das hidrelétricas acarreta efeitos ambientais que podem persistir por décadas (Junk & Mello 1990). A sedimentação pode culminar em águas turvas, com menor transparência da água, resultando na diminuição da produtividade das plantas e impactando negativamente as espécies de peixes e aves (Melo *et al.* 2021).

Além das alterações no balanço químico, hidrológico e nutricional do sistema aquático e interface terrestre-aquática, a instalação de hidrelétricas gera emissões de gases de efeito estufa (GEEs). Os GEEs são produzidos durante a construção e funcionamento de hidrelétricas (Fearnside 2015). Tais emissões

variam significativamente a depender do tamanho do reservatório e da natureza da terra inundada. As inundações causam o aumento da decomposição da vegetação e a liberação tanto de dióxido de carbono quanto de metano. A quantidade precisa de emissões é altamente dependente das características específicas do local. Entretanto, estima-se que as emissões de GEE das superfícies das águas dos reservatórios do mundo sejam de 0,8 (0,5-1,2) Pg CO₂ equivalentes por ano, sendo o metano (CH₄) responsável pela maior parte dessa emissão (Deemer *et al.* 2016).

As barragens hidrelétricas também são responsáveis por alterações na fenologia e no ciclo de vida de espécies arbóreas de florestas alagáveis, causando a mortalidade massiva ou a realocação de comunidades a jusante da barragem (Resende *et al.* 2019, 2020; Schöngart *et al.* 2021). Este impacto é ocasionado pelo fluxo irregular de água que elimina a previsibilidade e altera a amplitude do efeito de transbordamento do rio para as margens (pulso de inundação), deixando a vegetação exposta a uma nova condição hídrica. Além disso, as populações locais de animais aquáticos e terrestres ao longo do rio podem sofrer com a redução da qualidade dos habitats disponíveis, levando à extinção de espécies endêmicas e a alterações na composição da fauna (Fearnside *et al.* 2021).

Para os peixes, a mudança abrupta de ambientes lóticos (rio) para ambientes lênticos (lago), com a construção dos reservatórios de hidrelétricas, resulta em efeitos negativos na abundância e riqueza taxonômica e funcional (Keppeler *et al.* 2022). A construção de hidrelétricas eleva o risco de extinção de espécies endêmicas que dependem da manutenção da dinâmica hidrológica local (Fitzgerald *et al.* 2018; Latrubesse *et al.* 2020; Zuanon *et al.* 2020). Por exemplo, espécies de longa migração são severamente afetadas após a construção de hidrelétricas, dada a necessidade de conectividade ao longo do rio para completarem o ciclo de vida, sendo o represamento uma barreira que interrompe migrações reprodutivas (Duponchelle *et al.* 2021). Como consequência desses processos, a produção pesqueira tende a ser reduzida drasticamente após a construção de hidrelétricas, especialmente de espécies migratórias de alto valor comercial, o que acarreta a redução da renda obtida com a pesca (Arantes *et al.* 2022; Lima *et al.* 2020). Os impactos na pesca, portanto, levam a consequências danosas também para a dinâmica social, tema que é abordado a seguir.

Impactos sociais

Uma série de casos analisados por pesquisadores, povos tradicionais e organizações da sociedade civil ilustra os graves impactos nos modos de vida das populações nas regiões inundadas ou a jusante das barragens hidrelétricas na

região amazônica. Ainda que se considerem apenas as hidrelétricas de Tucuruí, Balbina e Belo Monte, há exemplos notáveis de remoção forçada ou deslocamento compulsório de populações, incluindo povos indígenas que tiveram territórios alagados ou indiretamente impactados pelos reservatórios, além de graves impactos à saúde, seja pela proliferação de mosquitos ou metilação de mercúrio, pela perda da segurança e soberania alimentar ou pelo aumento dos indicadores de suicídio e violência, especialmente contra as mulheres (Barroso 2019; Brum & Glock 2020; Fearnside 2019a). Associada aos impactos sociais está uma série de irregularidades tanto nos processos de licenciamento das hidrelétricas quanto no processo decisório que o antecede (Fearnside 2019c). O caso de Belo Monte é novamente emblemático: em 2022, o Supremo Tribunal Federal finalmente reconheceu que não houve consulta pública ampla, com o necessário esclarecimento de potenciais impactos socioambientais – muitos deles severos e dificilmente reversíveis –, nem o necessário debate com a sociedade, como prevê a Constituição Brasileira de 1988 e a Convenção nº 169 da OIT, da qual o Brasil é signatário. Em suma, conclui-se que projetos como a hidrelétrica de Belo Monte são causadores diretos de ecocídio e etnocídio (Observatório da Volta Grande do Xingu 2023).

A construção de hidrelétricas gera impactos diretos na qualidade de vida das populações ribeirinhas, como problemas de saúde decorrentes, inclusive, de sentimentos de frustração, medo e impotência dos afetados (Fearnside 2017, 2019a). Portanto, é preciso ampliar o discurso da saúde e abrir espaço para que intervenções sejam estruturadas a fim de que se considerem os atingidos pelas hidrelétricas como sujeitos políticos empoderados (Giongo *et al.* 2015). Há a necessidade de incorporar e identificar, dentro dos estudos de impactos associados à construção de hidrelétricas, os impactos à qualidade de vida das populações atingidas (Grisotti 2016). Poucos programas de pesquisa e avaliação acompanham longitudinalmente os processos de pré e pós-instalação de hidrelétricas, sendo raros os estudos de avaliação do estado de saúde além dos aspectos puramente médicos, o que é agravado pela falta de dados oficiais de saúde sobre as populações afetadas (Grisotti 2016). Estudos que considerem a avaliação dos impactos de empreendimentos hidrelétricos à saúde da população são fundamentais, pois auxiliam nas tomadas de decisão a respeito de propostas de projetos que integram promoção e prevenção de problemas de saúde. Tais estudos também podem contribuir para o desenvolvimento de programas e políticas públicas voltados à saúde da população afetada, tendo por base modelos que incluam aspectos econômicos, políticos, sociais e ambientais de forma integrada (Okochi & Marques 2019).

Atuais diretrizes governamentais e tendências de crescimento do setor elétrico

De acordo com o Plano Nacional de Energia para 2050 (PNE-2050, 2020), o Brasil baseia seu planejamento de expansão de produção energética em quatro pilares fundamentais: segurança energética, retorno adequado aos investimentos, disponibilidade de acesso à população e critérios socioambientais. Embora o quarto pilar, relacionado aos critérios socioambientais, seja mencionado, sua abordagem no plano carece de análise mais aprofundada.

Uma das metas estabelecidas no PNE é a transição do Brasil de um país importador para um país exportador de energia. No entanto, essa meta levanta preocupações, uma vez que pode agravar as disparidades em termos de acesso à energia limpa, em vez de se concentrar na garantia desse acesso para comunidades isoladas. Essa transição significaria que a energia produzida em um local seria transferida para outros países, ampliando potencialmente a injustiça energética.

O plano também prevê aumento na eficiência energética, com um interesse crescente na eletrificação da matriz energética. Além da eletrificação, o PNE estabelece diretrizes para a descarbonização e a busca por fontes de energia de baixo carbono. No Brasil, observa-se uma adesão à tendência global de adoção de fontes de energia renovável mais sustentáveis, impulsionada pelo declínio nos custos das tecnologias de geração de energia solar e eólica.

No entanto, contrariando esse discurso, o plano também prevê a expansão do setor hidrelétrico no Brasil (PNE-2050, 2020). Planeja-se um aumento de mais de 100% na produção de energia hidrelétrica, por meio da modernização e repotencialização de usinas antigas, bem como da construção de usinas já inventariadas. Essa expansão ocorre em meio a uma preocupante sobreposição de 77% das usinas hidrelétricas inventariadas com áreas protegidas na Amazônia. Já estão em andamento os projetos das usinas de Bem Querer, Castanheira e Tabajara (PNE-2050, 2020), que fazem parte desses planos de expansão na região amazônica.

Construção de hidrelétricas: um cenário ideal nunca cumprido

Com o intuito de evidenciar a razão para *não* se seguir construindo hidrelétricas na Amazônia brasileira, elaboramos uma síntese de nossa proposta, apresentada na Figura 2. Trata-se de oito diretrizes ou critérios limitadores

que evidenciam a não viabilidade da construção de novos empreendimentos hidrelétricos. Como apontado anteriormente, se, na prática, esses critérios nunca foram respeitados, não é possível seguir construindo novas hidrelétricas na Amazônia brasileira. Ademais, apontamos que a modernização e revisão de empreendimentos já em operação deveriam, na medida do possível, seguir esses mesmos critérios. Na sequência, sugerimos algumas alternativas para a geração de eletricidade no Brasil, especialmente na Amazônia.

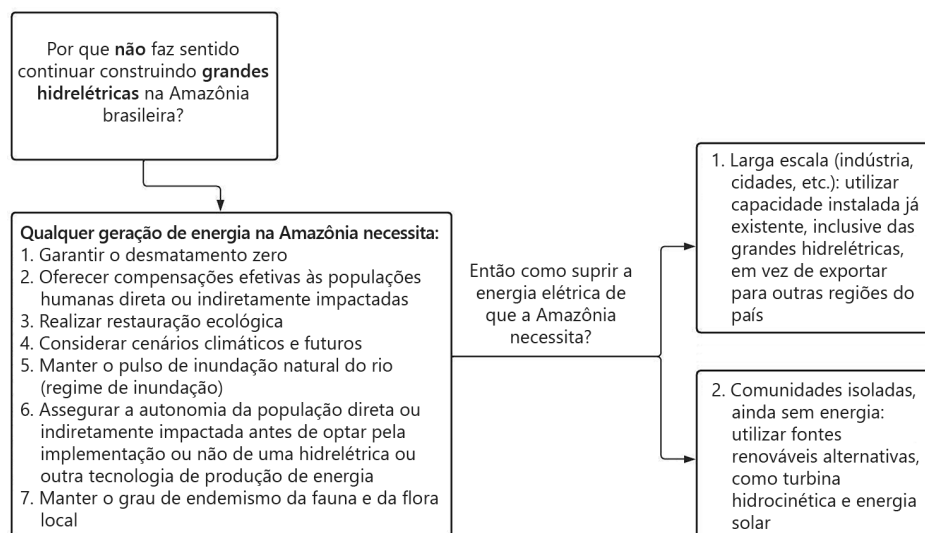


Figura 2 Por que não faz sentido continuar construindo grandes hidrelétricas na Amazônia brasileira? Justificativas e proposta de intervenção.

Garantir desmatamento zero

Todo empreendimento traz consigo impactos ambientais (Barbosa Filho *et al.* 2015). Embora diversos estudos evidenciem a associação clara entre a construção de barragens hidrelétricas e o aumento do desmatamento (Barreto *et al.* 2011; Fearnside 2014; Nickerson *et al.* 2022), estratégias que busquem mitigar ou compensar a perda de cobertura vegetal nas proximidades das hidrelétricas ainda são pouco exploradas e raramente incluídas no planejamento de novos projetos. Tendo isso em vista, propomos o critério “desmatamento zero”, que consiste na restrição de qualquer perda de cobertura vegetal nativa nas proximidades de hidrelétricas.

Como estratégia, empreendimentos hidrelétricos deveriam priorizar a criação de unidades de conservação e de terras indígenas, como forma de minimi-

zar a ocupação predatória no entorno dos reservatórios (Silva Júnior *et al.* 2018). Esse critério está em concordância com as resoluções 10/1987 e 021996 do Conselho Brasileiro do Meio Ambiente (CONAMA), nas quais fica estabelecido que o licenciamento de empreendimentos de grande impacto ambiental deve ter como requisito a implantação de uma área protegida de domínio público. Além disso, é fundamental desestimular a ocupação por meio de assentamentos e abertura de estradas, pois essas variáveis são determinantes para elevar as taxas de desmatamento por meio, por exemplo, da conversão de florestas em áreas de plantio e criação de gado (Fearnside 2005).

Sugere-se, também, que sejam estabelecidas metodologias para o monitoramento do cumprimento desse critério em empreendimentos já em operação. Uma possível metodologia poderia ser fundamentada na definição de um raio de alcance do impacto de uma hidrelétrica (e.g., 120 km de raio, ver Resende *et al.* 2019) e o estabelecimento de uma cobertura florestal de referência (e.g., MapBiomias), tendo por base o ano em que a construção do um empreendimento hidrelétrico é aprovado. Além disso, deve ser estabelecido um horizonte de tempo para a realização de monitoramento anual. Neste caso, um exemplo seria: no entorno de um empreendimento (120 km de raio) existem 30 mil km² de cobertura florestal no ano de 1989 (quando a construção é iniciada); portanto, nos próximos 30 anos, essa cobertura deverá se manter ou aumentar, sendo inadmissível a substituição de florestas maduras por florestas jovens. O monitoramento deverá ser feito por organização idônea (e.g., MapBiomias).

Oferecer compensações efetivas às populações humanas direta ou indiretamente impactadas

A retirada de populações locais ocorre para abrir espaço à construção das hidrelétricas, seja para a casa de força (onde se dá a geração de energia), seja para a construção de diques de contenção da água, ou até mesmo em decorrência da elevação do nível do rio a montante, afetando diretamente populações ribeirinhas e de áreas urbanas às margens dos rios (Mayer *et al.* 2021). O deslocamento populacional está associado a parte significativa dos impactos sociais produzidos pelas hidrelétricas na Amazônia. Isso ocorre pelo fato de que a remoção de populações de seu local original culmina no fato de tais populações perderem relações de vizinhança, com familiares e, inclusive, suas fontes de subsistência (Mayer *et al.* 2022). Tais problemas não são novos nem específicos da construção de hidrelétricas na Amazônia. Estudos ao redor do mundo já mostravam que o deslocamento populacional é danoso às populações locais, estando associado à perda de capital social na China (Tilt & Gerkey 2016), per-

da de terras agricultáveis e animais de criação no norte do Irã (Tajziehchi *et al.* 2013), empobrecimento da população na Índia (Cernea 2004) e crescimento das desigualdades sociais no Vietnã (Huu 2015). É importante notar que esses processos ocorrem em países em desenvolvimento, o que se dá pelo fato de que é nessas localidades que a construção de hidrelétricas se encontra em expansão, enquanto países desenvolvidos investiram na utilização do seu potencial hidrelétrico no passado e, hoje, voltam-se a fontes alternativas de energia, potencialmente menos danosas ao ambiente e à população (Moran *et al.* 2018).

Em um cenário ideal, nenhum projeto de infraestrutura na Amazônia poderia gerar deslocamentos populacionais compulsórios. Dessa maneira, seria extirpada a principal causa dos impactos sociais das hidrelétricas na Amazônia. Esse cenário, contudo, não encontra base na realidade. Assim, o mínimo a se garantir é que as populações locais consentam, em sua maioria, com a construção do empreendimento, por meio de processos efetivamente participativos e democráticos, além de que a elas devem ser trazidos maiores benefícios sociais e econômicos do que malefícios. Assim, populações locais devem ser devidamente compensadas pelos impactos gerados pela construção de hidrelétricas, e tais compensações precisam ocorrer antes da instalação e efetiva operação das obras, o que não foi o caso, por exemplo, de Belo Monte (Gauthier & Moran 2018).

Entretanto, raros estudos evidenciam algum sucesso no processo de realizar compensações às populações locais impactadas pela construção de hidrelétricas (Randell 2016). Programas de compensação são frequentemente não disponibilizados a todos os grupos populacionais impactados, principalmente aqueles a jusante da construção da barragem (Castro-Díaz *et al.* 2018; Richter *et al.* 2010; Zhou & Oliveira 2007). Além disso, algumas perdas decorrentes da construção de hidrelétricas são difíceis de quantificar, como capital social, vínculos emocionais com o local e patrimônio cultural, de modo que estes raramente são incluídos em programas de compensação (Green & Baird 2016; Vanclay 2017).

Enquanto as compensações forem *pro forma*, para conquistar a garantia da licença de instalação junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA) e, posteriormente, renovar as licenças de operação das hidrelétricas, tais programas continuarão ineficazes em termos de garantia de melhoria real e permanente de vida para as populações impactadas.

Realizar restauração ecológica

A restauração de florestas tem sido promovida como a solução mais eficaz para a mitigação das mudanças climáticas em função da rápida estocagem de carbono na biomassa a custos inferiores às alternativas tecnológicas disponíveis

(Bastin *et al.* 2019; Griscom *et al.* 2017; Lewis *et al.* 2019). Programas de restauração com metas ousadas têm sido estabelecidos no Brasil e no mundo, em acordo com a década da restauração proposta pela Organização das Nações Unidas (ONU). A manutenção de diversos serviços ecossistêmicos essenciais ao bem-estar da população, como a proteção de mananciais e a produção de bens florestais, é de profundo interesse social e econômico, sendo a restauração uma das principais soluções para a obtenção desses serviços (Brancalion *et al.* 2019). O aumento da escala das ações de restauração florestal traz consigo desafios científicos e tecnológicos imediatos, uma vez que a restauração tem sido desenvolvida essencialmente como uma atividade de escala local, sendo em sua maioria planejada, implantada e monitorada de forma parcelada (Holl 2017).

Além de garantir o desmatamento zero, empreendimentos hidrelétricos deveriam se comprometer a restaurar áreas sob sua região de influência (e.g., 120 km de raio), incluindo áreas que foram convertidas antes ou durante o período de atuação do empreendimento. Um percentual de máximo aceitável de área passível de restauração deve ser estabelecido previamente. Por exemplo, sempre que houver uma área maior que o valor estabelecido pela lei para área de uso alternativo (e.g., 20% para Amazônia, uma vez que 80% deve constituir a Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanente em áreas florestais na Amazônia Legal), exceto em zonas urbanas, dentro do raio de influência da hidrelétrica, deverá ser feita a restauração ecológica dos ecossistemas originais.

Considerar cenários climáticos futuros

Historicamente, a maioria das avaliações de risco das hidrelétricas assumiu um estado estacionário na variabilidade dos fenômenos climáticos, incluindo a frequência e magnitude dos eventos extremos (Fluixá-Sanmartín *et al.* 2018). Contudo, estudos de cenários hidroclimáticos têm sido conduzidos, identificando-se os efeitos das alterações hidrológicas, do aquecimento global e do desmatamento em mudanças de mesoescala (respectivamente, Sorribas *et al.* 2016; Commar *et al.* 2023) a macroescala (Arnell & Gosling 2016) e os seus impactos na operação de hidrelétricas (e.g., Kahaduwa & Rajapakse 2022; Men *et al.* 2019). Isto tem suscitado preocupações sobre a disponibilidade de água, e muitas investigações recaem sobre as mudanças futuras no ciclo hidrológico. Tais estudos apontam para condições climáticas mais quentes e secas, com secas prolongadas e redução na quantidade e intensidade da precipitação em diversas áreas do planeta, inclusive na bacia amazônica (IPCC 2021).

Para a Amazônia, já são identificadas alterações no regime de distribuição de chuvas e a potencialização da sazonalidade (Gloor *et al.* 2013). Tais altera-

ções são apontadas em projeções futuras, em que se observa uma estação seca mais quente e seca e uma estação de chuva mais fria e chuvosa em diferentes porções da Amazônia (Baker *et al.* 2021; Duffy *et al.* 2015). Uma das principais consequências das alterações climáticas será a perda da previsibilidade do pulso de inundação, tornando a variação de águas baixas e altas cada vez mais imponderável (Sorribas *et al.* 2016).

Portanto, as hipóteses de bases climáticas estacionárias já não são mais apropriadas para a gestão da segurança das barragens no longo prazo (Kahaduwa & Rajapakse 2022). Consequentemente, é crucial que os empreendimentos hidrelétricos considerem os cenários climáticos extremos e sejam projetados para adaptação e apoio à tomada de decisões sob uma abordagem mais resiliente, evitando-se, assim, o fracasso, em termos de geração de energia, de grandes hidrelétricas, com graves consequências econômicas, ambientais e sociais. A partir de estudos científicos, deve-se levantar as variáveis climáticas que influenciam ou podem ser influenciadas localmente por empreendimentos hidrelétricos. Horizontes de tempo similares aos fornecidos pelos modelos climáticos futuros devem ser considerados.

Manter o pulso de inundação natural do rio (regime de vazão)

A combinação de diversos fatores, como a precipitação sazonal e as grandes extensões de diversas bacias hidrográficas, faz com que o acúmulo de água seja concentrado em uma ou mais épocas do ano, caracterizando, assim, o “Pulso de Inundação” (Junk *et al.* 1989). Nos grandes rios da Amazônia Central, por exemplo, a diferença anual de nível pode ser de mais de 10 m. Este fenômeno, em grandes rios livres (*free flowing*), é geralmente anual e previsível (Junk *et al.* 2011; Grill *et al.* 2019).

Alterações no regime natural do rio ocasionam diversos prejuízos diretos para as comunidades animais e vegetais locais e para populações humanas (Schöngart *et al.* 2021). Especificamente no caso das hidrelétricas, o represamento de rios pelas usinas produz perdas de pulso de inundação e afeta negativamente os ecossistemas ribeirinhos a jusante da barragem (Neves *et al.* 2019). Além disso, no período operacional das barragens, as florestas alagáveis de igapó e várzea são fortemente impactadas por condições de inundação permanente em baixas elevações topográficas. Cerca de 12% das florestas alagáveis são afetadas ao longo de um trecho de rio a jusante de mais de 125 km (Resende *et al.* 2019; Schöngart *et al.* 2021).

Assim, com o intuito de mitigar os impactos gerados e evitar a perda socio-ambiental, é necessária a manutenção do pulso de inundação. É possível fazê-lo levando-se em consideração a quantidade, a duração e a qualidade dos níveis de água para a sustentação do ecossistema aquático (Arthington *et al.* 2018). Parâmetros como duração e o tempo de início da inundação podem ser mantidos em regimes naturais sem a necessidade de reduzir a produção de energia (Kuriqi *et al.* 2019). Porém, em casos que compreendem o desvio de água do canal natural, como na Volta Grande do Rio Xingu, é necessário reduzir a produção de energia devido aos impactos das mudanças no clima em tais parâmetros hidrológicos. O uso de métricas de alteração hidrológica baseadas nesses parâmetros deve auxiliar os tomadores de decisão, garantindo a operação da hidrelétrica e a estabilidade dos ecossistemas de áreas úmidas na bacia amazônica, tão fundamentais para as populações ribeirinhas e indígenas.

Assegurar a autonomia da população direta ou indiretamente impactada antes de optar pela implementação ou não de uma hidrelétrica ou outra tecnologia de produção de energia

O processo de tomada de decisão pela construção das hidrelétricas na Amazônia brasileira enfrenta graves problemas. Segundo Fearnside (2019b, p. 79):

[...] a decisão real sobre a construção ou não de uma barragem é tomada por poucas pessoas no governo muito antes da elaboração dos estudos ambientais, a realização de audiências públicas e a análise pelo órgão ambiental das informações levantadas. Por serem tomadas antes de levantar informações sobre impactos, as decisões políticas ignoram muitas das consequências sociais e ambientais, e o processo de licenciamento acaba sendo um mero passo burocrático para legalizar as decisões já tomadas.

Isso posto, é fundamental que o processo de decisão pela construção de hidrelétricas seja reformulado. A autonomia da população direta ou indiretamente impactada pelo empreendimento deve ser respeitada. Ao mesmo tempo, é necessário promover um debate mais amplo acerca dos custos socioambientais das hidrelétricas, de maneira que a população tenha acesso a informações qualificadas.

Para lidar com esse problema, trazemos duas proposições. A primeira delas diz respeito à criação de um Fórum Permanente sobre Transição Energética, integrado por representantes da sociedade civil e do poder público, com funções de debate interdepartamental e divulgação para público não especialista

a respeito das hidrelétricas e, de forma mais ampla, das fontes alternativas. Esse fórum estaria em concordância com as propostas das ministras Anielle Franco, Marina Silva e também Sônia Guajajara (Ministérios da Igualdade Racial, do Meio Ambiente e Mudança do Clima e dos Povos Indígenas, respectivamente). Elas enfatizam que temas como desigualdade, fome, mudanças climáticas e racismo – parte dos problemas que envolvem as hidrelétricas na Amazônia – demandam um tratamento transversal, unindo não apenas diferentes pastas do poder público como também a sociedade civil (Vick 2023).

A segunda proposição compreende a importância da adoção de mecanismos jurídicos vinculantes que garantam a autonomia da população direta e indiretamente impactada na decisão pela construção ou não de hidrelétricas na Amazônia. Especialmente, destacamos a necessidade do reconhecimento e adoção dos protocolos comunitários/autônomos de consulta e consentimento prévio, livre e informado. Trata-se de documentos previstos pela Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT) e elaborados por povos indígenas, quilombolas e tradicionais que estabelecem as regras para o procedimento da consulta prévia, livre, informada e de boa-fé, de maneira a respeitar as especificidades culturais, os sistemas jurídicos próprios, as formas de organização social e de deliberação coletiva (Observatório de Protocolos Comunitários 2023; ver também Marés *et al.* 2019). Além de adotar aqueles que já existem, sugerimos a destinação de recursos públicos para que novos protocolos comunitários possam ser criados. Nos casos em que não há tais protocolos, enfatizamos a importância de que o governo federal conduza processos de consulta livre, prévia e informada em efetiva conformidade com a Constituição Federal e a Convenção 169 da OIT.

Manter o grau de endemismo da fauna e da flora locais

A escolha do local para a construção das hidrelétricas é fundamental para a preservação e conservação de espécies endêmicas (flora e fauna), em virtude da biodiversidade e peculiaridades de cada região (Nunes-Gutjahr & Braga 2015; Ziober & Zanirato 2014). As mudanças físicas e biológicas decorrentes da construção e implementação de barragens podem causar danos permanentes aos habitats e à biodiversidade (Wu *et al.* 2019), pois colocam em risco de extinção espécies endêmicas cuja ocorrência esteja limitada à área de influência direta do empreendimento. Sabe-se que a extinção de uma única espécie em determinado local causa desequilíbrio em todo o ecossistema, uma vez que as

espécies que retêm relação ecológica com ela são afetadas e, consequentemente, extintas (Choueri 2013).

Assim, é necessário identificar áreas com ocorrência de espécies endêmicas, realizar inventários de flora e fauna e modelos de distribuição de espécies (Park *et al.* 2003), bem como consultar trabalhos científicos revisados por pares. Por fim, devem ser criadas Unidades de Conservação de Proteção Integral para garantir a conservação de espécies, quando houver ocorrência, e reduzir a perda de biodiversidade. O monitoramento constante e a emissão de relatórios sobre o desempenho de populações de espécies endêmicas devem ser exigidos pelos órgãos regulamentadores.

Viabilidade da proposta: alternativas às grandes barragens para geração de eletricidade na (e para a) Amazônia

Ao levar em conta os critérios restritivos apontados e desenvolvidos neste trabalho, dificilmente novas hidrelétricas de grande porte seriam construídas na região amazônica. Sendo assim, passamos a apontar, nesta seção, alternativas tecnológicas já existentes para a produção de energia elétrica na Amazônia, priorizando beneficiar os próprios residentes.

Em primeiro lugar, assumimos que não faz sentido manter o colonialismo interno, com base no qual a Amazônia exporta para outras regiões do país a maior parte da energia elétrica que produz (Randell & Klein 2021). Cerca de 26% do total nacional de eletricidade é produzido na região amazônica do Brasil, principalmente por meio da energia hidrelétrica; ao mesmo tempo, a região consome apenas 8% da eletricidade nacional (EPE 2022; Schutze *et al.* 2022). Assim, assume-se que a região já produz eletricidade suficiente para abastecer (com bases sustentáveis, mas não vamos entrar nesta discussão), ao longo das próximas décadas, as cidades, grandes centros urbanos e outras áreas conectadas à rede de energia. Há, entretanto, cerca de um milhão de pessoas ainda sem energia elétrica na Amazônia (IEMA 2020), que compreendem especialmente populações isoladas, não conectadas à rede, seja pela distância, seja pelo impacto ambiental que trará a extensão da rede até elas (desflorestamento, por exemplo). Para tais populações, alternativas tecnológicas já existem, mas carecem de políticas públicas para se tornarem economicamente viáveis.

Uma das tecnologias mais promissoras, que vem sendo aprimorada para o contexto amazônico, são as pequenas turbinas *in-stream* para a geração de energia hidrocínética. Tais equipamentos, instalados nos rios, possibilitam a pro-

dução de energia a partir da própria correnteza, sem necessidade de barragem no fluxo do rio ou qualquer desvio de seu curso. Além disso, peixes podem passar pelas hélices da turbina sem sofrer danos. Por fim, ao não se construírem barragens, mantêm-se a conectividade e a navegabilidade dos rios, tão importantes para o vínculo entre populações locais. Essa tecnologia está em constante aprimoramento, é foco de estudos científicos e já vem funcionando em vários lugares do mundo (Built *et al.* 2015; Mendes *et al.* 2020; Van Zwieten *et al.* 2015; Zhou & Deng 2017). Obviamente, os rios amazônicos têm suas próprias especificidades, assim, deve-se considerar estudos que vêm sendo desenvolvidos para adequar a tecnologia às características desses rios (Els & Junior 2015; Moran *et al.* 2022b). Nessa direção, um levantamento recente apontou que 63% do total de energia planejado para ser gerado por hidrelétricas convencionais na Amazônia brasileira poderia ser produzido usando turbinas no próprio leito do rio, utilizando como fonte a energia cinética da água e sem requerer barragens (Chaudhari *et al.* 2021).

Existem outras fontes promissoras para a geração de energia elétrica descentralizada na Amazônia brasileira. A solar fotovoltaica, atualmente segunda maior fonte de energia do Brasil (Canal Energia 2023), é também a base da política pública na Amazônia para fornecer energia a comunidades isoladas, por meio do Programa Mais Luz para a Amazônia (Brasil 2022). Outro potencial a ser explorado na Amazônia, em pequena escala, é a geração de energia a partir de biomassa. Esta fonte pode ser atrelada às atividades de bioeconomia, isto é, à elaboração de produtos com matérias-primas da própria região para gerar trabalho e renda à população local a partir da valorização da floresta em pé. Os estados do Amapá, Amazonas, Rondônia e Roraima possuem, juntos, o potencial de gerar biogás suficiente para atender a 107 mil residências, o que significa cerca de 429 mil pessoas (Instituto Escolhas 2020).

Considerando-se a diversidade de potenciais fontes de energia na Amazônia brasileira, sugerimos que sejam elaboradas estratégias localizadas de produção de eletricidade na região, tomando por base o nível das demandas e, principalmente, as especificidades ambientais locais, que favorecem o uso de dada tecnologia em vez de outras. Vale também a pena ressaltar que a geração de energia pode ser realizada de modo combinado, isto é, a partir de sistemas híbridos, mesclando distintas fontes de produção que se potencializam. A título de exemplo, estudo recente apontou a factibilidade da utilização de turbinas hidrocínéticas *in-stream* em conjunto com painéis de energia solar fotovoltaica para produzir eletricidade para comunidades isoladas na Amazônia brasileira,

salientando a importância de que as ciências sociais e as engenharias trabalhem juntas para desenvolverem sistemas eficazes e sustentáveis, adequados à realidade local (Brown *et al.* 2022).

Conclusão

Estamos convictos e convictas de que as restrições aqui propostas podem auxiliar os tomadores de decisão a refletir profundamente sobre os impactos inerentes à construção de barragens hidrelétricas na Amazônia e não permitir novos empreendimentos na região. Também esperamos que possam utilizar este referencial para reavaliar as barragens já construídas, com o intuito de minimizar os danos já causados. É provável que empresas interessadas argumentem que seguir as restrições propostas aqui é inviável, o que ressalta a impossibilidade de se continuar a aprovar novos pedidos de construção. Portanto, nosso trabalho aponta para a inviabilidade de construir novas barragens hidrelétricas na Amazônia sem causar danos ao meio ambiente e às comunidades locais, em linha com o apontado por Fearnside *et al.* (2021).

O aumento no consumo de energia e emissão de gases de efeito estufa é muitas vezes associado ao crescimento de indicadores de riqueza, como o Produto Interno Bruto (PIB). Porém, tal correlação tem sido desassociada em muitos países, incluindo Estados Unidos e Reino Unido. O Brasil também pode reduzir suas emissões, mesmo com o PIB em ascensão. Para tanto, necessita rever a falácia da energia “limpa” produzida por grandes hidrelétricas, uma vez que estas, além dos efeitos sociais danosos, também possuem impactos ambientais evidentes e amplamente documentados, inclusive o crescimento de emissões de dióxido de carbono e metano. Além disso, idealmente, a geração de energia elétrica deve estar próxima do mercado consumidor, evitando não apenas perdas de energia e gastos com transmissão, mas principalmente promovendo justiça ambiental, uma vez que toda geração de energia causa externalidades, que devem ser compartilhadas especialmente entre aqueles que recebem seus benefícios. Alternativas às grandes hidrelétricas existem, mas, para ganhar competitividade, elas precisam ser foco de políticas públicas centradas no bem-estar da população nacional e na preservação do patrimônio ambiental do país.

Agradecimentos – AFR, ICJ, LSR, ESFR e FMBR agradecem à FAPESP e CNPq pelo financiamento das bolsas pós-doutorado (processos #2019/24049-5, #2020/16378-6, #2020/16412-0, #2022/06221-8, #300537/2023-9, respectivamente). As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste

material são de responsabilidade dos autores e não necessariamente refletem a visão da FAPESP. Os autores agradecem à Comissão Organizadora do Curso “São Paulo School of Advanced Science Sustainable and Inclusive AMAZÔNIA”, ocorrido em São Pedro (SP), Brasil, entre 21 de novembro e 05 de dezembro de 2022, por ter oportunizado a criação de uma nova rede de contatos entre pesquisadores que se dedicam ao tema Amazônia. Agradecemos também à FAPESP pelo fomento a essa iniciativa.

Contribuições dos autores – Todos os autores contribuíram igualmente para a conceitualização, metodologia e redação das versões inicial e final do texto.

Conflitos de interesse – Os autores declaram que não têm conflitos de interesse relacionados à publicação deste manuscrito.

Ética – O presente estudo não envolve seres humanos e/ou ensaios clínicos que deveriam ser aprovados pelo Comitê de Ética Institucional.

Referências bibliográficas

- AGÊNCIA BRASIL 2019. **Ministro aciona Belo Monte, a maior geradora de energia do Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/ministro-aciona-belo-monte-a-maior-geradora-de-energia-do-bras-1>. Acesso em: 05 de junho de 2023.
- AGÊNCIA BRASIL 2023. **Ministério de Minas e Energia. Programa Mais Luz para a Amazônia chega à marca de 44 mil pessoas beneficiadas**. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2022/12/programa-mais-luz-para-a-amazonia-chega-a-marca-de-44-mil-pessoas-beneficiadas>. Acesso em: 29 jan. 2023.
- PRADO, Fernando Almeida; ATHAYDE, Simone; MOSSA, Joann; BOHLMAN, Stephanie; LEITE, Flavia; OLIVER-SMITH, Anthony. How much is enough? An integrated examination of energy security, economic growth and climate change related to hydropower expansion in Brazil. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 53, p. 1132-1136, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.050>.
- ALMEIDA, Rafael M; SCHMITT, Rafael Jp; CASTELLETTI, Andrea; FLECKER, Alexander s; HAROU, Julien J; A HEILPERN, Sebastian; KITTNER, Noah; KONDOLF, G Mathias; OPPERMAN, Jeff J; SHI, Qinru. Strategic planning of hydropower development: balancing benefits and socioenvironmental costs. **Current Opinion In Environmental Sustainability**, [S.L.], v. 56, p. 101175, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101175>.
- ALMEIDA, Rafael M.; SHI, Qinru; GOMES-SELMAN, Jonathan M.; WU, Xiaojian; XUE, Yexiang; ANGARRITA, Hector; BARROS, Nathan; FORSBERG, Bruce R.; GARCÍA-VILLACORTA, Roosevelt; HAMILTON, Stephen K.. Reducing greenhouse gas emissions of Amazon hydropower with strategic dam planning. **Nature Communications**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 1-9, 19 set. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-019-12179-5>.
- BRASIL. ANEEL. **Matriz Elétrica Brasileira**. 2023. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYtctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- ANSAR, Atif; FLYVBJERG, Bent; BUDZIER, Alexander; LUNN, Daniel. Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. **Energy Policy**, [S.L.], v. 69, p. 43-56, jun. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.069>.

ARANTES, Caroline C; FITZGERALD, Daniel B; HOEINGHAUS, David J; WINEMILLER, Kirk O. Impacts of hydroelectric dams on fishes and fisheries in tropical rivers through the lens of functional traits. **Current Opinion In Environmental Sustainability**, [S.L.], v. 37, p. 28-40, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2019.04.009>.

ARANTES, Caroline C.; LAUFER, Juliana; PINTO, Mac David da Silva; MORAN, Emilio F.; LOPEZ, Maria Claudia; DUTKA-GIANELLI, Jynessa; PINTO, Danielle Mendonça; CHAUDHARI, Suyog; POKHREL, Yadu; DORIA, Carolina R. C.. Functional responses of fisheries to hydropower dams in the Amazonian Floodplain of the Madeira River. **Journal Of Applied Ecology**, [S.L.], v. 59, n. 3, p. 680-692, 26 nov. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2664.14082>.

ARNELL, Nigel W.; GOSLING, Simon N.. The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. **Climatic Change**, [S.L.], v. 134, n. 3, p. 387-401, 6 mar. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-014-1084-5>.

BAGHER, Askari Mohammad; VAHID, Mirzaei; MOHSEN, Mirhabibi; PARVIN, Dehghani. Hydroelectric Energy Advantages and Disadvantages. **American Journal Of Energy Science**, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 17-20, abr. 2015.

BAKER, Jessica C. A.; GARCIA-CARRERAS, Luis; GLOOR, Manuel; MARSHAM, John H.; BUERMANN, Wolfgang; ROCHA, Humberto R. da; NOBRE, Antonio D.; ARAUJO, Alessandro Carioca de; SPRACKLEN, Dominick V.. Evapotranspiration in the Amazon: spatial patterns, seasonality, and recent trends in observations, reanalysis, and climate models. **Hydrology And Earth System Sciences**, [S.L.], v. 25, n. 4, p. 2279-2300, 28 abr. 2021. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-25-2279-2021>.

BARBOSA FILHO, Wilson Pereira; FERREIRA, Wemerson Rocha; AZEVEDO, Abílio César Soares de; COSTA, Antonella Lombardi; PINHEIRO, Ricardo Brant. EXPANSÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: impactos ambientais e políticas públicas. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 4, p. 628, 7 dez. 2015. Anima Educação. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v4e02015628-642>.

BARRETO, Paulo et al. **Risco de desmatamento associado à hidrelétrica de Belo Monte**. Belém: Imazon, 2011. 98 p.

BARROSO, Milena Fernandes. Violência estrutural contra mulheres em Belo Monte: o que os dados oficiais (não) revelam | structural violence against women in belo monte. **Revista em Pauta**, [S.L.], v. 17, n. 43, p. 140-154, 7 maio 2019. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/rep.2019.42509>.

BASTIN, Jean-Francois; FINEGOLD, Yelena; GARCIA, Claude; MOLLICONE, Danilo; REZENDE, Marcelo; ROUTH, Devin; ZOHNER, Constantin M.; CROWTHER, Thomas W.. The global tree restoration potential. **Science**, [S.L.], v. 365, n. 6448, p. 76-79, 5 jul. 2019. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.aax0848>.

BAUMANN, Michael; SCHULLER, Oliver. Life Cycle Assessment and environmental comparison of electricity generation from hydropower, considering technical and climate boundary conditions. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EFFICIENCY, COST, OPTIMIZATION, SIMULATION AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF ENERGY SYSTEMS, 26., 2013, Guilin. **Proceedings**. Guilin: [S.N.], 2013. p. 1-6.

Dailson J. Bertassoli, Jr. et al. How green can Amazon hydropower be? Net carbon emission from the largest hydropower plant in Amazonia. **Science Advances**. [S.L.], v. 7, n. 26, p. 1-9, 5 nov. 2021. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.abe1470>.

BRANCALION, Pedro H. S.; NIAMIR, Aidin; BROADBENT, Eben; CROUZELLES, Renato; BARROS, Felipe S. M.; ZAMBRANO, Angelica M. Almeyda; BACCINI, Alessandro; ARONSON, James; GOETZ, Scott; REID, J. Leighton. Global restoration opportunities in tropical rainforest landscapes. **Science Advances**, [S.L.], v. 5, n. 7, p. 1-11, 5 jul. 2019. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.aav3223>.

BROWN, Erik; JOHANSEN, Igor Cavallini; BORTOLETO, Ana Paula; POKHREL, Yadu; CHAUDHARI, Suyog; CAK, Anthony; SULAEMAN, Samer; CASTRO-DIAZ, Laura; LOPEZ, Maria Claudia; MAYER,

- Adam. Feasibility of hybrid in-stream generator–photovoltaic systems for Amazonian off-grid communities. **Pnas Nexus**, [S.L.], v. 1, n. 3, p. 1-9, 9 jun. 2022. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/pnasnexus/pgac077>.
- BRUM, E. & GLOCK, C. 2020. **A cidade que mata o futuro**: em 2020, Altamira enfrenta um aumento avassalador de suicídios de adolescentes. Disponível em: <https://www.mpmt.mp.br/conteudo/733/84586/a-cidade-que-mata-o-futuro-em-2020-altamira-enfrenta-um-aumento-avassalador-de-suicidios-de-adolescentes>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- CANAL ENERGIA. **Solar passa eólica e é segunda maior fonte no Brasil**. 2023. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53234514/energia-solar-se-torna-a-segunda-maior-fonte-na-matriz-eletrica-brasileira>. Acesso em: 29 jan. 2023.
- CARVALHO, Nathália S.; ANDERSON, Liana O.; A NUNES, Cássio; PESSÔA, Ana C M; SILVA JUNIOR, Celso H L; REIS, João B C; SHIMABUKURO, Yosio e; BERENGUER, Erika; BARLOW, Jos; ARAGÃO, Luiz e O C. Spatio-temporal variation in dry season determines the Amazonian fire calendar. **Environmental Research Letters**, [S.L.], v. 16, n. 12, p. 125009, 1 dez. 2021. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ac3aa3>.
- CASTRO-DIAZ, Laura; LOPEZ, Maria Claudia; MORAN, Emilio. Gender-Differentiated Impacts of the Belo Monte Hydroelectric Dam on Downstream Fishers in the Brazilian Amazon. **Human Ecology**, [S.L.], v. 46, n. 3, p. 411-422, 5 abr. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10745-018-9992-z>.
- CERNEA, M.M. Social Impacts and Social Risks in Hydropower Programs: Preemptive Planning and Counter-risk Measures In **Symposium on Hydropower and Sustainable Development**. p.1–22.
- CHAUDHARI, Suyog; BROWN, Erik; QUISPE-ABAD, Raul; MORAN, Emilio; MÜLLER, Norbert; POKHREL, Yadu. In-stream turbines for rethinking hydropower development in the Amazon basin. **Nature Sustainability**, [S.L.], v. 4, n. 8, p. 680-687, 22 abr. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41893-021-00712-8>.
- CHOUERI, Ricardo Brasil; AZEVEDO, Josué Anderson Rêgo. BIODIVERSIDADE E IMPACTO DE GRANDES EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS NA BACIA TOCANTINS-ARAGUAIA: uma análise sistêmica. **Sociedade & Natureza**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 439-453, 20 dez. 2017. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v29n3-2017-6>.
- COMMAR, Luiz Felipe Sant’anna; ABRAHÃO, Gabriel Medeiros; COSTA, Marcos Heil. A possible deforestation-induced synoptic-scale circulation that delays the rainy season onset in Amazonia. **Environmental Research Letters**, [S.L.], v. 18, n. 4, p. 044041, 1 abr. 2023. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/acc95f>.
- COUTO, T.; FANZERES, A.; MESSENGER, M.; FERNANDES, I.; CARVALHO, R.; EYNG, V.; ATHAYDE, S.; OLDEN, J. **Os impactos socioambientais e a insustentabilidade energética das Pequenas Centrais Hidrelétricas na Amazônia**. 2021. Disponível em: <https://www.amazoniacienciadadana.org/portugues/novidades/impactos-pequenas-hidreletricas/>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- DEEMER, Bridget R.; HARRISON, John A.; LI, Siyue; BEAULIEU, Jake J.; DELSANTO, Tonya; BARROS, Nathan; BEZERRA-NETO, José F.; POWERS, Stephen M.; DOS SANTOS, Marco A.; VONK, J. Arie. Greenhouse Gas Emissions from Reservoir Water Surfaces: a new global synthesis. **Bioscience**, [S.L.], v. 66, n. 11, p. 949-964, 5 out. 2016. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/biosci/biw117>.
- DUFFY, Philip B.; BRANDO, Paulo; ASNER, Gregory P.; FIELD, Christopher B.. Projections of future meteorological drought and wet periods in the Amazon. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 112, n. 43, p. 13172-13177, 12 out. 2015. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1421010112>.
- DUPONCHELLE, Fabrice; ISAAC, Victoria J.; DORIA, Carolina Rodrigues da Costa; VAN DAMME, Paul A.; HERRERA-R, Guido A.; ANDERSON, Elizabeth P.; CRUZ, Rivetla E.A.; HAUSER, Marília; HERMANN, Theodore W.; AGUDELO, Edwin. Conservation of migratory fishes in the Amazon basin. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, [S.L.], v. 31, n. 5, p. 1087-1105, 19 mar. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/aqc.3550>.

- EDWARDS, B.K. The Economics of Hydroelectric Power. **Energy J**, [S.L.] v. 26, n. 4, p. 131–133, 2005.
- VAN ELS, Rudi Henri; BRASIL JUNIOR, Antonio Cesar Pinho. The Brazilian Experience with Hydrokinetic Turbines. **Energy Procedia**, [S.L.], v. 75, p. 259–264, ago. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.328>.
- Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: junho 2023.
- FEARNSIDE, Philip M.. Hydroelectric Dams in the Brazilian Amazon as Sources of ‘Greenhouse’ Gases. **Environmental Conservation**, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 7–19, 1995. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0376892900034020>.
- FEARNSIDE, Philip M.. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. **Conservation Biology**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 680–688, jun. 2005. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x>.
- FEARNSIDE, P.M. Viewpoint – Decision Making on Amazon Dams: Politics Trumps Uncertainty in the Madeira River Sediments Controversy. **Water Altern**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 313–325, 2013.
- FEARNSIDE, Philip M.. Impacts of Brazil’s Madeira River Dams: unlearned lessons for hydroelectric development in amazonia. **Environmental Science & Policy**, [S.L.], v. 38, p. 164–172, abr. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2013.11.004>.
- FEARNSIDE, Philip M.. Emissions from tropical hydropower and the IPCC. **Environmental Science & Policy**, [S.L.], v. 50, p. 225–239, jun. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2015.03.002>.
- FEARNSIDE, Philip M.. **Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras**. 2. ed. Manaus: Inpa, 2015.
- FEARNSIDE, Philip M.. Belo Monte: actors and arguments in the struggle over brazil’s most controversial amazonian dam. **Die Erde**, [S.L.], p. 14–26, 31 mar. 2017. Gesellschaft für Erdkunde. <http://dx.doi.org/10.12854/erde-148-27>.
- FEARNSIDE, P.M. **Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras**. Editora INPA. Vol. 3.
- FEARNSIDE, P. M. **Plano de expansão de barragens hidrelétricas na Bacia Amazônica coloca em risco populações locais e a biodiversidade**. Entrevista especial com Philip M. Fearnside, por Patricia Fachin, 2019b.
- FEARNSIDE, P.M. Impactos das hidrelétricas na Amazônia e a tomada de decisão. **Novos Cad**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 69–96, 2019c. Disponível em: <https://www.ihu.unisinos.br/604025-plano-de-expansao-de-barragens-hidreletricas-na-bacia-amazonica-coloca-em-risco-populacoes-locais-e-a-biodiversidade-entre>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- FEARNSIDE, P.M., BERENGUER, E., ARMENTERAS, D., DUPONCHELLE, F., GUERRA, F.M., JENKINS, C.N., BYNOE, P., GARCÍA-VILLACORTA, R., MACEDO, M., ALMEIDA-VAL, V.M.F., NASCIMENTO, N. Drivers and Impacts of Changes in Aquatic Ecosystems. In: NOBRE, C. *et al.* (Eds). **Amazon Assessment Report**. New York: United Nations Sustainable Development Solutions Network. Disponível em: <https://www.theamazonwewant.org/spa-reports/>.
- FITZGERALD, Daniel B.; PEREZ, Mark H. Sabaj; SOUSA, Leandro M.; GONÇALVES, Alany P.; PY-DANIEL, Lucia Rapp; LUJAN, Nathan K.; ZUANON, Jansen; WINEMILLER, Kirk O.; LUNDBERG, John G.. Diversity and community structure of rapids-dwelling fishes of the Xingu River: implications for conservation amid large-scale hydroelectric development. **Biological Conservation**, [S.L.], v. 222, p. 104–112, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2018.04.002>.
- FLECKER, Alexander S.; SHI, Qinru; ALMEIDA, Rafael M.; ANGARITA, Héctor; GOMES-SELMAN, Jonathan M.; GARCÍA-VILLACORTA, Roosevelt; SETHI, Suresh A.; THOMAS, Steven A.; POFF, N. Leroy; FORSBERG, Bruce R.. Reducing adverse impacts of Amazon hydropower expansion. **Science**, [S.L.], v. 375, n. 6582, p. 753–760, 18 fev. 2022. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.abj4017>.

FLUXÁ-SANMARTÍN, Javier; ALTAREJOS-GARCÍA, Luis; MORALES-TORRES, Adrián; ESCUDER-BUEÑO, Ignacio. Review article: climate change impacts on dam safety. **Natural Hazards And Earth System Sciences**, [S.L.], v. 18, n. 9, p. 2471-2488, 17 set. 2018. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-18-2471-2018>.

GAUTHIER, Cristina; MORAN, Emilio F.. Public policy implementation and basic sanitation issues associated with hydroelectric projects in the Brazilian Amazon: altamira and the belo monte dam. **Geoforum**, [S.L.], v. 97, p. 10-21, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.10.001>.

GIONGO, Carmem Regina; MENDES, Jussara Maria Rosa; SANTOS, Fabiane Konowaluk. Desenvolvimento, saúde e meio ambiente: contradições na construção de hidrelétricas. **Serviço Social & Sociedade**, [S.L.], n. 123, p. 501-522, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0101-6628.034>.

GLOOR, M.; BRIENEN, R. J. W.; GALBRAITH, D.; FELDPAUSCH, T. R.; SCHÖNGART, J.; GUYOT, J.-L.; ESPINOZA, J. C.; LLOYD, J.; PHILLIPS, O. L.. Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. **Geophysical Research Letters**, [S.L.], v. 40, n. 9, p. 1729-1733, 14 maio 2013. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1002/grl.50377>.

GREEN, W. Nathan; BAIRD, Ian G.. Capitalizing on Compensation: hydropower resettlement and the commodification and decommodification of nature-society relations in southern laos. **Annals Of The American Association Of Geographers**, [S.L.], v. 106, n. 4, p. 853-873, 8 abr. 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/24694452.2016.1146570>.

GRILL, G.; LEHNER, B.; THIEME, M.; GEENEN, B.; TICKNER, D.; ANTONELLI, F.; BABU, S.; BORRELLI, P.; CHENG, L.; CROCHETIERE, H.. Mapping the world's free-flowing rivers. **Nature**, [S.L.], v. 569, n. 7755, p. 215-221, maio 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41586-019-1111-9>.

GRISCOM, Bronson W. *et al.* Natural climate solutions. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 114, n. 44, p. 11645-11650, 16 out. 2017. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1710465114>.

GRISOTTI, Márcia *et al.* THE CONSTRUCTION OF HEALTH CAUSAL RELATIONS IN THE BELO MONTE DAM CONTEXT. **Ambiente & Sociedade**, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 287-304, jun. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0252v1922016>.

HOLL, Karen D. *et al.* Research Directions in Tropical Forest Restoration. **Annals Of The Missouri Botanical Garden**, [S.L.], v. 102, n. 2, p. 237-250, 11 ago. 2017. Missouri Botanical Garden Press. <http://dx.doi.org/10.3417/2016036>.

HUU, T. P. **Dilemmas of hydropower development in Vietnam**: between dam-induced displacement and sustainable development. 2015. Disponível em: <https://landgovernance.org/dilemmas-hydropower-development-vietnam-dam-induced-displacement-sustainable-development/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

IEMA (Instituto de Energia e Meio Ambiente) **Amazônia legal**: Quem está sem energia elétrica. 2020. Disponível em: <http://energiaeambiente.org.br/produto/exclusao-eletrica-na-amazonia-legal-quem-ainda-esta-sem-acesso-a-energia-eletrica>. Acesso em: 28 jan. 2023.

INSTITUTO ESCOLHAS. **Biogás na Amazônia**: energia para mover a bioeconomia. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://escolhas.org/wp-content/uploads/2020/12/Biog%C3%A1s-na-Amaz%C3%B4nia-energia-para-mover-a-bioeconomia.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2023.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **I.P.C.C. Task Force on National Greenhouse Gas Inventories** (T.F.I.). T.F.I. Interim Guidance Notes to Experts and Authors. Kanagawa, Japan: T.F.I. Technical Support Unit, Institute for Global Environmental Strategies (I.G.E.S.), 2011. 13 p. Disponível em: http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/Hydro-G/1106_Guidance_to_Authors.pdf.

IPCC 2021. In: MASSON-DELMOTTE, V., Z.H.A.I., P., P.I.R.A.N.I., A., C.O.N.N.O.R.S., S.L., PÉAN, C., B.E.R.G.E.R., S., C.A.U.D., N., C.H.E.N., Y., GOLDFARB, L., G.O.M.I.S., M.I., H.U.A.N.G., M., LEITZELL, K., L.O.N.N.O.Y., E., MATTHEWS, J.B.R., M.A.Y.C.O.C.K., T.K., WATERFIELD, T., YELEKÇİ, O., YU, R., ZHOU, B. (Eds.), **Climate Change 2021**: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the

Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021. 40 p.

JUNK, W.J.; B.A.Y.L.E.Y., P.B.; SPARKS, R.E. 1989. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. **Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.**, [S.L.] v. 106, p. 110–127, 1989.

UNK, Wolfgang J.; PIEDADE, Maria Teresa Fernandez; SCHÖNGART, Jochen; COHN-HAFT, Mario; ADENEY, J. Marion; WITTMANN, Florian. A Classification of Major Naturally-Occurring Amazonian Lowland Wetlands. **Wetlands**, [S.L.], v. 31, n. 4, p. 623–640, 8 jul. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13157-011-0190-7>.

KAHADUWA, Amaya *et al.* Review of climate change impacts on reservoir hydrology and long-term basin-wide water resources management. **Building Research & Information**, [S.L.], v. 50, n. 5, p. 515–526, 21 set. 2021. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2021.1977908>.

KEPPELER, Friedrich W. *et al.* Early impacts of the largest Amazonian hydropower project on fish communities. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 838, p. 155951, set. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155951>.

KURIQI, Alban; PINHEIRO, António N.; SORDO-WARD, Alvaro; GARROTE, Luis. Influence of hydrologically based environmental flow methods on flow alteration and energy production in a run-of-river hydropower plant. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 232, p. 1028–1042, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.358>.

LATRUBESSE, Edgardo M. *et al.* Vulnerability of the biota in riverine and seasonally flooded habitats to damming of Amazonian rivers. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, [S.L.], v. 31, n. 5, p. 1136–1149, 17 ago. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/aqc.3424>.

LEES, Alexander C. *et al.* Hydropower and the future of Amazonian biodiversity. **Biodiversity And Conservation**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 451–466, mar. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-016-1072-3>.

LEWIS, Simon L. *et al.* Restoring natural forests is the best way to remove atmospheric carbon. **Nature**, [S.L.], v. 568, n. 7750, p. 25–28, abr. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/d41586-019-01026-8>.

LI, Mingxu; HE, Nianpeng. Carbon intensity of global existing and future hydropower reservoirs. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 162, p. 112433, jul. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2022.112433>.

LIMA, Maria Alice Leite *et al.* Declining fisheries and increasing prices: the economic cost of tropical rivers impoundment. **Fisheries Research**, [S.L.], v. 221, p. 105399, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105399>.

MACHADO, A. M. F.; PEREIRA, B. R.; RAMOS, L. D. O. **Usina Hidrelétrica Belo Monte**: Implicações Institucionais, Econômicas e Sociambientais. São Paulo: (Produção de caso) Escola de direito de São Paulo – Fundação Getúlio Vargas, 2011. 21 p.

MAYER, Adam *et al.* Is hydropower worth it? Exploring amazonian resettlement, human development and environmental costs with the Belo Monte project in Brazil. **Energy Research & Social Science**, [S.L.], v. 78, p. 102129, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2021.102129>.

MAYER, Adam *et al.* Hydropower, Social Capital, Community Impacts, and Self-Rated Health in the Amazon*. **Rural Sociology**, [S.L.], v. 87, n. 2, p. 393–426, 19 nov. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/ruso.12419>.

MELO, Tais *et al.* Flipped reducetarianism: a vegan fish subordinated to carnivory by suppression of the flooded forest in the amazon. **Forest Ecology And Management**, [S.L.], v. 435, p. 138–143, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.050>.

MEN, Baohui; LIU, Huanlong; TIAN, Wei; WU, Zhijian; HUI, Ji. The Impact of Reservoirs on Runoff Under Climate Change: a case of nierji reservoir in china. **Water**, [S.L.], v. 11, n. 5, p. 1005, 14 maio 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w11051005>.

MENDES, Rafael Castilho Faria; DONALD, Ramsay Rafael Mac; MIRANDA, Ana Rafaela Sobrinho; VAN ELS, Rudi Henri; NUNES, Mauricio Andre; BRASIL JUNIOR, Antonio Cesar Pinho. Monitoring

- a hydrokinetic converter system for remaining energy in hydropower plants. **Ieee Latin America Transactions**, [S.L.], v. 18, n. 10, p. 1683-1691, out. 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tla.2020.9387638>.
- MORAN, Emilio F. *et al.* Sustainable hydropower in the 21st century. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 115, n. 47, p. 11891-11898, 5 nov. 2018. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1809426115>.
- MORAN, Emilio F. *et al.* Advancing convergence research: renewable energy solutions for off-grid communities. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 119, n. 49, p. 1-12, 29 nov. 2022. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.2207754119>.
- MOUNTFORD, H.; Waskow, D.; Gonzalez, L.; Gajjar, C.; Cogswell, N.; Holt, M.; Fransen, T.; Bergen, M.; Gerholdt, R. **COP26**: key outcomes from the un climate talks in glasgow. 2021.
- MUSA, Mirko *et al.* Performance and resilience of hydrokinetic turbine arrays under large migrating fluvial bedforms. **Nature Energy**, [S.L.], v. 3, n. 10, p. 839-846, 30 jul. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41560-018-0218-9>.
- NEVES, Juliana Rocha Duarte *et al.* Impact of climatic and hydrological disturbances on blackwater floodplain forests in Central Amazonia. **Biotropica**, [S.L.], v. 51, n. 4, p. 484-489, 24 maio 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/btp.12667>.
- NICKERSON, Samuel *et al.* Forest loss is significantly higher near clustered small dams than single large dams per megawatt of hydroelectricity installed in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, [S.L.], v. 17, n. 8, p. 084026, 1 ago. 2022. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ac8236>.
- NIEBUHR, C.M. *et al.* A review of hydrokinetic turbines and enhancement techniques for canal installations: technology, applicability and potential. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 113, p. 109240, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.047>.
- NORTE ENERGIA 2021. **Relatório da Administração 2021**. 2021. Disponível em: <https://www.norte-energiasa.com.br>. Acesso em: jun. 2023.
- UNES-GUTJAHR, Ana Lúcia *et al.* Análise faunística de gafanhotos Acridoidea da Volta Grande do Rio Xingu, área de influência direta da Hidrelétrica Belo Monte, Pará, Brasil. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 45, n. 7, p. 1220-1227, jul. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20120442>.
- OBSERVATÓRIO DA VOLTA GRANDE DO XINGU 2023. **O governo Lula precisa lidar com os crimes de Belo Monte**. 19 Jan. 2023. Disponível em: <https://sumauma.com/novo-governo-lula-precisa-lidar-crimes-belo-monte/>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- BARCELLOS, Christovam *et al.* HEALTH RISK ASSESSMENT ASSOCIATED WITH THE IMPLEMENTATION OF THE MADEIRA AHYDROELECTRIC COMPLEX, BRAZILIAN AMAZON. **Ambiente & Sociedade**, [S.L.], v. 21, p. 1-9, 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0019r-1vu18l4ft>.
- PARK, Young-Seuk *et al.* Conservation Strategies for Endemic Fish Species Threatened by the Three Gorges Dam. **Conservation Biology**, [S.L.], v. 17, n. 6, p. 1748-1758, dez. 2003. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2003.00430.x>.
- Ministério das Minas e Energia. **PNE (Plano Nacional de Energia) 2050**. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020.
- RANDELL, Heather. Structure and agency in development-induced forced migration: the case of brazil's belo monte dam. **Population And Environment**, [S.L.], v. 37, n. 3, p. 265-287, 4 set. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11111-015-0245-4>.
- RANDELL, Heather; KLEIN, Peter. Hydropower Development, Collective Action, and Environmental Justice in the Brazilian Amazon. **Society & Natural Resources**, [S.L.], v. 34, n. 9, p. 1232-1249, 9 jul. 2021. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/08941920.2021.1948649>.
- RESENDE, Angélica Faria de; SCHÖNGART, Jochen; STREHER, Annia Susin; FERREIRA-FERREIRA, Jefferson; PIEDEDE, Maria Teresa Fernandez; SILVA, Thiago Sanna Freire. Massive tree mortality from

flood pulse disturbances in Amazonian floodplain forests: the collateral effects of hydropower production. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 659, p. 587-598, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.208>.

RESENDE, Angélica F. *et al.* Flood-pulse disturbances as a threat for long-living Amazonian trees. **New Phytologist**, [S.L.], v. 227, n. 6, p. 1790-1803, 19 jun. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.16665>.

RICHTER, B.D.; REVENGA, C.; SCUDDER, T.; LEHNER, B.; CHURCHILL, A.; CHOW, M. Lost in Development's Shadow: The Downstream Human Consequences of Dams. **Water Altern**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 14-42, 2010.

ROBERTS, T.R. Mekong mainstream hydropower dams: Run-of-the-river or ruin-of-the-river. **Natural History Bulletin of the Siam Society**, v. 43, n. 1, p. 9-19, 1995.

ROMANELLI, J.P.; PICOLI, R.A.; SILVA, L.G.M. Avaliação socioambiental de pequenas centrais hidrelétricas: Uma proposta para o aprimoramento das avaliações vigentes no Brasil. **Espacios**, [S.L.], v. 38, n. 7, p.1-11, 2017.

SCHÖNGART, Jochen *et al.* The shadow of the Balbina dam: a synthesis of over 35 years of downstream impacts on floodplain forests in central amazonia. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, [S.L.], v. 31, n. 5, p. 1117-1135, 15 fev. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/aqc.3526>.

SCHUTZE, A., BINES, L., ASSUNÇÃO, J.J. **Rivers of diesel in the Amazon: Why Does the Region with Brazil's Biggest Hydroelectric Plants Still Rely on Expensive, Dirty Fuel?** 3 Jun. 2022. Disponível em: <https://www.climatepolicyinitiative.org/publication/rivers-of-diesel-in-the-amazon-why-does-the-region-with-brazils-biggest-hydroelectric-plants-still-rely-on-expensive-dirty-fuel/>. Acesso em: jun. 2023.

SCUDDER, T. **The future of large dams: dealing with social, environmental, institutional and political costs**. Earthscan, 2006.

SILVANO, JURAS, A. & BEGOSSI, A. Clean energy and poor people: ecological impacts of hydroelectric dams on fish and fishermen in the Amazon rainforest. **Energy, Environ. Ecosyst. Dev. Landsc. Archit.** p. 139-147, 2015.

SOMBROEK, Wim *et al.* Spatial and Temporal Patterns of Amazon Rainfall. **Ambio: A Journal of the Human Environment**, [S.L.], v. 30, n. 7, p. 388-396, nov. 2001. Royal Swedish Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447-30.7.388>.

SORRIBAS, Mino Viana *et al.* Projections of climate change effects on discharge and inundation in the Amazon basin. **Climatic Change**, [S.L.], v. 136, n. 3-4, p. 555-570, 9 mar. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-016-1640-2>.

SOUZA, Carlos *et al.* Long-Term Annual Surface Water Change in the Brazilian Amazon Biome: potential links with deforestation, infrastructure development and climate change. **Water**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 566, 19 mar. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w11030566>.

SOVACOL, Benjamin K.; GILBERT, Alex; NUGENT, Daniel. Risk, innovation, electricity infrastructure and construction cost overruns: testing six hypotheses. **Energy**, [S.L.], v. 74, p. 906-917, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.070>.

TAJZIEHCHI, S. *et al.* Quantification of Social Impacts of Large Hydropower Dams- a case study of Alborz Dam in Mazandaran Province, Northern Iran. **International Journal Of Environmental Research**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 377-382, abr. 2013. University of Tehran. <http://dx.doi.org/10.22059/ijer.2013.615>.

TILT, Bryan *et al.* Dams and population displacement on China's Upper Mekong River: implications for social capital and social/ecological resilience. **Global Environmental Change**, [S.L.], v. 36, p. 153-162, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.11.008>.

TOLMASQUIM, Maurício T. *et al.* Electricity market design and renewable energy auctions: the case of Brazil. **Energy Policy**, [S.L.], v. 158, p. 112558, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112558>.

- VAL, A. L. *et al.* Environmental disturbances and fishes in the Amazon. **Journal Of Fish Biology**, [S.L.], v. 89, n. 1, p. 192-193, 11 fev. 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jfb.12896>.
- VANNOTE, Robin L. *et al.* The River Continuum Concept. **Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences**, [S.L.], v. 37, n. 1, p. 130-137, 1 jan. 1980. Canadian Science Publishing. <http://dx.doi.org/10.1139/f80-017>.
- VANCLAY, Frank *et al.* Project-induced displacement and resettlement: from impoverishment risks to an opportunity for development?. **Impact Assessment And Project Appraisal**, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 3-21, 2 jan. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/14615517.2017.1278671>.
- VANZWIETEN, James *et al.* In-Stream Hydrokinetic Power: review and appraisal. **Journal Of Energy Engineering**, [S.L.], v. 141, n. 3, p. 04014024, set. 2015. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)ey.1943-7897.0000197](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)ey.1943-7897.0000197).
- VICK, M. **O que é uma política transversal**. E o que é preciso para ela vingar. 2023. Disponível em: <https://www.nexojornal.com.br/expresso/2023/01/12/O-que-%C3%A9-uma-pol%C3%ADtica-transversal.-E-o-que-%C3%A9-preciso-para-ela-vingar>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- WU, Haipeng *et al.* Effects of dam construction on biodiversity: a review. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 221, p. 480-489, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.001>.
- ZARFL, Christiane *et al.* A global boom in hydropower dam construction. **Aquatic Sciences**, [S.L.], v. 77, n. 1, p. 161-170, 25 out. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00027-014-0377-0>.
- ZHOU, Daqing *et al.* Ultra-low-head hydroelectric technology: a review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 78, p. 23-30, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.086>.
- ZHOURI, Andréa *et al.* Desenvolvimento, conflitos sociais e violência no Brasil rural: o caso das usinas hidrelétricas. **Ambiente & Sociedade**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 119-135, dez. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1414-753x2007000200008>.
- ZIOBER, B.R.; ZANIRATO, S.H. Actions to safeguard biodiversity during the building of the Itaipu Binacional Hydroelectric plant. **Ambient. Soc.**, [S.L.], v. 17, v. 1, p. 59-78, 2014.
- ZUANON, Jansen *et al.* Condições para a manutenção da dinâmica sazonal de inundação, a conservação do ecossistema aquático e manutenção dos modos de vida dos povos da volta grande do Xingu. **Papers do Naea**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 20-62, 7 abr. 2019. Universidade Federal do Para. <http://dx.doi.org/10.18542/papersnaea.v28i2.8106>.

ANEXO I

Infográfico dirigido à população em geral, com dados e informações-chave a respeito dos impactos e custos que envolvem a construção e manutenção de hidrelétricas na Amazônia.



Sobre os autores

Angélica Faria de Resende é Engenheira Florestal pela Universidade Federal de Viçosa/UFV, com mestrado e doutorado no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/INPA. Concluiu um pós-doutorado na Embrapa Amazônia Oriental, e atualmente é pesquisadora (pós-doutorado) nas Universidades de São Paulo e Stirling. <https://orcid.org/0000-0002-9875-1122>

Erika Ferreira Rodrigues é Engenheira Agrônoma, formada pela Universidade Federal Rural da Amazônia /UFRA, com mestrado e doutorado na Universidade Federal do Pará/UFPA. Atualmente é pesquisadora no Laboratório de Micropaleontologia da Universidade de São Paulo – GSA/IGC/USP – São Paulo. <https://orcid.org/0000-0002-0554-5160>

Flora Magdaline Benitez Romero é Engenheira Agroflorestal pela Universidade Amazônica de Pando, com mestrado em Desenvolvimento Regional pela Universidade Federal do Acre/UFAC e doutorado em Ciência Florestal na Universidade Federal de Viçosa/UFV. Atualmente realiza pós-doutorado no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/INPA <https://orcid.org/0000-0001-9417-1780>

Gabriel Costa Borba é Biólogo pela Universidade Federal de Rio Grande/FURG, mestre em ecologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/INPA e cursa o PhD em Fish & Wildlife Conservation pela Virginia Tech University. <https://orcid.org/0000-0002-3159-2120>

Igor Cavallini Johansen É formado em Sociologia e Ciência Política pela Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP, possuindo mestrado e doutorado em Demografia pela UNICAMP. Atualmente é bolsista de pós-doutorado da FAPESP na Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP. <https://orcid.org/0000-0002-5360-3740>

Luiza Santos Reis é formada em Oceanografia pela Universidade Federal do Pará/UFPA, com Mestrado em Uso Sustentável dos Recursos Naturais pelo Instituto Tecnológico Vale/ITV e Doutorado em Ciências pela Universidade de São Paulo/USP, com estágio na Universidade de Sorbonne. Atualmente, é bolsista FAPESP e pós-doutoranda no Laboratório de Micropaleontologia (IGC/USP). <https://orcid.org/0000-0002-4006-7088>

Marina Ghirotto Santos é graduada em Relações Internacionais pela Escola Superior de Propaganda e Marketing/ESPM, Mestre em Ciências Sociais pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo/PUC-SP, e doutora em Antropologia Social pela Universidade de São Paulo/USP. <https://orcid.org/0000-0001-8220-3327>

Songila Maria da Silva Rocha Doi é Bióloga graduada na Universidade Regional do Cariri/URCA e Nutricionista pela Universidade Arthur de Sá Earp Neto/UNIFASE, com especialização em Nutrição e Saúde pela Universidade Federal de Lavras/UFLA, mestrado em Engenharia Biomédica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná/UTFPR e Doutorado em biotecnologia e biodiversidade pela Universidade Federal do Acre/UFAC. Atualmente é coordenadora e docente do curso de Nutrição da Faculdade Pequeno Príncipe/FPP. <https://orcid.org/0000-0001-8928-8247>

