DE IQUITOS AO ESTUÁRIO AMAZÔNICO: MAPEANDO RISCOS COMPOSTOS EM COMUNIDADES RIBEIRINHAS DO RIO SOLIMÕES/AMAZONAS

Andre Zumak Azevedo Nascimento[1], Alice César Fassoni-Andrade[1] , Monara Claudia Barbosa da Silva[1'2], Heloísa Corrêa Pereira[1] , Priscila Camelo Alves[1], Paula dos Santos Silva[1], Fabrice Papa[3] , Ayan Santos Fleischmann[1]

Palavras-Chave – Riscos compostos; Amazônia; comunidades ribeirinhas; seca extrema; erosão fluvial.

INTRODUÇÃO

Os grandes rios de água branca da Amazônia estruturam uma das paisagens fluviais mais dinâmicas do planeta, controlando simultaneamente processos ecológicos, geomorfológicos e formas de ocupação humana. Ao longo do corredor Solimões/Amazonas, comunidades ribeirinhas dependem diretamente da conectividade fluvial para mobilidade, abastecimento, pesca e acesso a serviços essenciais. Estas comunidades enfrentam desafios socioambientais associados à dinâmica fluvial, incluindo processos erosivos das margens, sedimentação dos canais, isolamento durante períodos de estiagem e intensificação do estresse térmico decorrente das mudanças climáticas e das alterações ambientais regionais (Mertes et al., 1996; Constantine et al., 2014; Webster et al., 2016; Junk et al., 2011; IPCC, 2023; Latrubesse et al., 2017; Fleischmann et al., 2025).

Entretanto, eventos recentes de seca extrema e calor intenso evidenciaram que o risco socioambiental amazônico não resulta de um único processo isolado, mas da interação entre múltiplos perigos ambientais e limitações territoriais (Santos de Lima et al., 2024; White et al., 2025; Fleischmann et al., 2025). Nesse contexto, a abordagem de riscos compostos torna-se particularmente relevante para compreender como seca meteorológica, erosão fluvial, calor extremo e isolamento sazonal atuam conjuntamente sobre comunidades amazônicas (Pinho et al., 2025).

Dessa forma, este estudo teve como objetivo analisar a distribuição espacial de riscos compostos em comunidades ao longo do corredor Solimões/Amazonas, integrando componentes de perigo, exposição e vulnerabilidade a partir de dados de sensoriamento remoto, variáveis climáticas e indicadores territoriais.

METODOLOGIA

A área de estudo compreende o corredor do rio Solimões/Amazonas desde Iquitos, no Peru, até o estuário amazônico, incluindo 1778 comunidades localizadas ao longo do canal principal e até 1 km de distância do rio (Figura 01).

1 - Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá

2 - Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara - Universidade Estadual do Amazonas

3- Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Universidade de Brasília (UnB), Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales (LEGOS), Université Toulouse

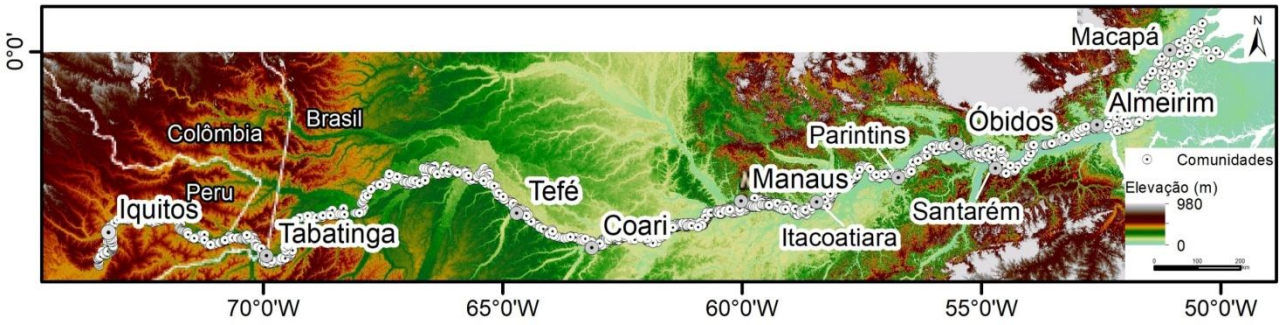


Figura 1. Área de estudo.

A área construída de cada uma das 1778 comunidades foi construída através da vetorização manual, utilizando o software Qgis, por meio de imagens do satélite Planet, com resolução espacial de três metros, de 2023. A avaliação do risco composto foi estruturada com base na abordagem conceitual de risco de desastres, segundo a qual o risco emerge da interação entre perigo, exposição e vulnerabilidade (UNDRR, 2017; IPCC, 2022).

O componente de perigo integrou quatro variáveis principais: (1) erosão/sedimentação derivada dos produtos Global Surface Water (GSW; Pekel et al., 2016) e Global Surface Water Dynamics (GLAD; Pickens et al., 2020), inspirado na metodologia desenvolvida por Zumak et al., (2025); (2) seca meteorológica baseada na análise de dados de chuva do produto CHIRPS (Funk et al., 2015) entre 2016 e 2025; (3) frequência média anual de dias com temperatura máxima ≥35 °C utilizando ERA5-Land (Muñoz-Sabater et al., 2021); e (4) distância ao canal principal durante a seca extrema de 2024 obtida a partir de imagens Sentinel-1. Toda a análise foi conduzida dentro da plataforma Google Earth Engine. A exposição foi representada pela população total e número de casas em cada comunidade, adquiridas por meio de dados oficiais do Brasil (IBGE, 2022) Peru e Colômbia.

Já a vulnerabilidade integrou déficit de escolas, déficit de postos de saúde adquiridos também por meio de dados oficiais do Brasil (IBGE, 2022) Peru e Colômbia. Distância fluvial até pequenas e grandes cidades amazônicas, utilizando metodologia baseada em caminhos de menor custo ao longo da rede hidrográfica (Webster et al., 2016). Todos os indicadores foram normalizados entre 0 e 1 por meio da abordagem *distance-to-target* (Nardo et al., 2005; OECD, 2008), permitindo a integração final dos índices compostos. O risco foi categorizado em cinco classes (muito alto, alto, moderado, baixo e muito baixo), considerando o método de otimização de quebras naturais de Jenks, que é tipicamente adotado em análises de risco de desastres (Moreira et al., 2021).

RESULTADOS

Os resultados demonstraram forte predominância de riscos compostos ao longo do corredor Solimões/Amazonas. Das 1778 comunidades analisadas, 974 apresentaram influência de erosão fluvial, enquanto 194 foram associadas a processos de sedimentação. Aproximadamente 110 mil pessoas vivem em áreas diretamente impactadas por esses processos geomorfológicos.

A análise da seca meteorológica mostrou que 1014 comunidades apresentaram valores moderados a elevados de perigo associado à estiagem, especialmente em regiões próximas a centros urbanos e áreas mais desmatadas. Em relação ao calor extremo, 713 comunidades registraram média superior a 10 dias por ano com temperatura máxima ≥35 °C, indicando recorrência significativa de condições térmicas potencialmente perigosas (IPCC, 2021).

Durante a seca extrema de 2024, 289 comunidades apresentaram distâncias superiores a 1 km em relação ao canal principal ativo, evidenciando forte redução da conectividade hidrológica e maior potencial de isolamento sazonal.

A análise final do índice de risco mostrou que quatro comunidades foram classificadas como muito alto e 19 como alto. Em termos populacionais, aproximadamente 39 mil pessoas vivem em comunidades classificadas entre alto e muito alto risco (Figura 02).

Durante a seca extrema de 2024, 289 comunidades apresentaram distâncias superiores a 1 km em relação ao canal principal ativo, evidenciando forte redução da conectividade hidrológica e maior potencial de isolamento sazonal.

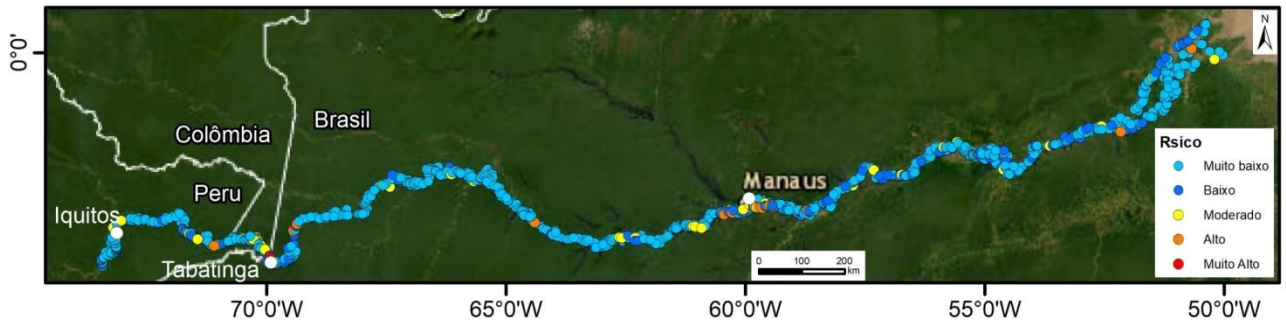


Figura 2. Mapa das classes de risco.

As maiores concentrações de risco ocorreram em localidades como Aldeia Indígena Umariaçu, Belém do Solimões, Campo Alegre e Careiro, onde se observou simultaneamente elevada exposição populacional, isolamento territorial, seca severa, calor extremo e instabilidade geomorfológica.

Os resultados reforçam que o risco socioambiental amazônico possui natureza essencialmente sistêmica e multivariada, emergindo da interação simultânea entre processos físicos e desigualdades territoriais (White et al., 2025; Zumak et al., 2025).

CONCLUSÕES

As comunidades ribeirinhas ao longo do corredor Solimões/Amazonas estão amplamente sujeitas a riscos compostos produzidos pela interação entre seca extrema, calor, erosão fluvial, isolamento sazonal e limitações estruturais de acesso a serviços essenciais. Os resultados demonstram que comunidades submetidas simultaneamente a múltiplos fatores críticos tendem a apresentar níveis desproporcionalmente maiores de risco, reforçando a necessidade de abordagens integradas para avaliação de risco na Amazônia. Em estudo futuro, pretende-se incluir a dimensão de cheias extremas (inundações) no mapeamento de perigo nas comunidades. A integração entre dados globais, sensoriamento remoto e dados regionais mostrou elevado potencial para construção de metodologias regionais de monitoramento de riscos compostos em áreas remotas da Amazônia.

REFERÊNCIAS

CONSTANTINE, J. A. et al. Sediment supply as a driver of river meandering and floodplain evolution in the Amazon Basin. Nature Geoscience, 2014.

ESPINOZA, J. C. et al. Climate variability and extreme droughts in the Amazon Basin. Hydrological Sciences Journal, 2021.

FLEISCHMANN, A., RABELO, R., TREGIDGO, D., BENITZ, T., VIANA, F., FRANCO, D., et al. (2025). Unprecedented Social-Ecological Impacts of the 2023 Extreme Drought in the Central Amazon. Scientific Reports, 15.

FUNK, Chris et al. The Climate Hazards Infrared Precipitation with Stations – a new environmental record for monitoring extremes. Scientific Data, London, v. 2, n. 1, p. 1–21, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2022: População e domicílios: primeiros resultados. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, 2021.

IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

MERTES, L. A. K. et al. Channel-floodplain geomorphology along the Solimões-Amazon River. Geological Society of America Bulletin, 1996.

MOREIRA, LL; DE BRITO, MM; KOBIYAMA, M. Efeitos de diferentes métodos de normalização, agregação e classificação na construção de índices de vulnerabilidade a inundações. Água (Suíça). 13. (2021a).

MUÑOZ-SABATER, J. et al. ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. Earth System Science Data, 2021.

MUÑOZ-SABATER, Joaquín et al. ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. Earth System Science Data, Göttingen, v. 13, n. 9, p. 4349–4383, 2021.

PEKEL, J. F. et al. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. Nature, v. 540, n. 7633, p. 418–422, 15 dez. 2016.

PICKENS, A. H. et al. Mapping and sampling to characterize global inland water dynamics from 1999 to 2018 with full Landsat time-series. Remote Sensing of Environment, v. 243, 15 jun. 2020.

SANTOS DE LIMA, L. et al. Severe droughts reduce navigability and isolate Amazonian communities. 2024.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). The Sendai Framework Terminology on Disaster Risk Reduction. Geneva: United Nations, 2017.

WEBSTER, G. et al. Accessibility to riverine communities in western Amazonia. Journal of Latin American Geography, 2016.

WHITE, C. J. et al. Multi-hazard and compound risk frameworks for climate extremes. 2025.

AGRADECIMENTOS

Universidade Internacional da Florida FIU, Fundação Gordon e Betty Moore e projeto JEAI/IRD pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa.