



XII
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS
DESIGUALDADES SOCIAIS
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

Geotecnologia na Avaliação da Alteração Humana em Áreas Úmidas Amazônicas

Guilherme de Sousa Lobo¹, Ramon F. Bicudo da Silva² e Mateus Batistella³

¹ Pesquisador de Pós-Doutorado no Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais (NEPAM) da UNICAMP guisousalobo@gmail.com

² Professor Colaborador do Programa de Doutorado em Ambiente e Sociedade do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas (IFCH) da UNICAMP, ramonbicudo@gmail.com

³ Pesquisador na Embrapa Agricultura Digital, mateus.batistella@embrapa.br

GT 09 – Geotecnologia no Suporte de Políticas Ambientais

RESUMO

A Bacia Amazônica abriga uma vasta rede de áreas úmidas essenciais para a biodiversidade, serviços ecossistêmicos e modos de vida tradicionais. Este estudo analisou, pela primeira vez para Amazônia, as mudanças no uso e cobertura da terra em áreas úmidas em comparação com terra firme entre 1985 e 2023, utilizando dados geoespaciais de acesso aberto. Os resultados revelam a perda de mais de 29 mil km² de vegetação nativa nas áreas úmidas, convertidos em agropecuária e áreas construídas, com uma retomada no crescimento de alteração humana após 2015. Embora menos alteradas que a terra firme, as áreas úmidas mostram-se cada vez mais vulneráveis à expansão agropecuária e áreas construídas. Os dados apontam a urgência de políticas de proteção e restauração, aliadas ao planejamento territorial e à valorização de práticas sustentáveis nas áreas úmidas. A análise contribui diretamente para ações alinhadas às políticas públicas definidas pela Convenção de Ramsar, reforçando a importância do uso da geotecnologia na governança ambiental das áreas úmidas da Amazônia.

Palavras-chave: Google Earth Engine; MapBiomas; áreas úmidas; Amazônia.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processos nº 23/12425-8, nº 25/04714-5 e nº 22/16002-1



Destaques (highlights)

- Análise inédita combinou dados geoespaciais de acesso aberto e algoritmos em nuvem para mapear mudanças no uso e cobertura da terra de áreas úmidas.
- Áreas úmidas da Amazônia perderam mais de 29 mil km² de vegetação nativa entre 1985 e 2023.
- A conversão de vegetação nativa das áreas úmidas ocorreu especialmente para novas áreas agropecuárias e para áreas construídas.
- Resultados indicam urgência de políticas de restauração e uso sustentável das áreas úmidas.

INTRODUÇÃO

A Amazônia possui uma extensa bacia hidrográfica, composta por uma rede de igarapés, rios, lagos e planícies alagáveis que formam paisagens únicas, sujeitas a inundações permanentes ou oscilantes, conhecidas como áreas úmidas (Junk *et al.* 2014). Aproximadamente 30% da Bacia Amazônica é composta por uma diversidade de áreas úmidas, como buritizais, igapós, várzeas e campinaranas, diferenciadas por parâmetros hidrológicos, químicos da água e solo, e pela vegetação (Junk *et al.* 2014). Ao longo da diversidade de áreas úmidas é possível encontrar uma miríade de espécies vegetais e animais adaptados ao pulso de inundação (Junk *et al.* 1989). As áreas úmidas são cruciais para os serviços ecossistêmicos incluindo serviço de suporte, com papel essencial nos ciclos biogeoquímicos, e serviço de regulação, especialmente no controle de água e sedimentos (Simpson *et al.* 2023). Áreas úmidas também oferecem serviços de provisão e culturais, sobretudo nas várzeas e igapós ao longo dos grandes rios, que historicamente abrigam populações tradicionais (ribeirinhas, quilombolas e indígenas) que dependem de seus recursos. Essas mesmas populações possuem modos de vida adaptados ao pulso de inundação áreas (Pinedo-Vasquez & Sears, 2011).

As áreas úmidas formam um importante e complexo sistema socioecológico definido pelo pulso de inundação (Kumar *et al.* 2023), reconhecido internacionalmente pela Convenção de Ramsar. O Brasil tornou-se signatário da Convenção de Ramsar em 1993, comprometendo-se a promover a conservação e uso sustentável dessas áreas (Ramsar Convention, 2016). No



entanto, apesar das áreas úmidas amazônicas brasileiras estarem relativamente bem conservadas em comparação com outras regiões do mundo (Fluet-Chouindard *et al.* 2023), enfrentam diversos impactos decorrentes da conversão do uso e cobertura da terra e das mudanças climáticas (Fearnside *et al.* 2021).

A conversão do uso e cobertura da terra é um potente vetor de impacto sobre as áreas úmidas amazônicas. Muitos rios foram modificados para gerar energia hidrelétrica (Winemiller *et al.* 2016), e muitas florestas alagáveis foram convertidas para áreas agropecuárias, urbanas e ocupadas por mineração (Castello & Macedo, 2016). O desmatamento das florestas alagáveis das margens dos grandes rios é um fenômeno preocupante, pois tem potencial efeito direto no padrão de inundação, como o projetado para o rio Xingu (Finer & Jenkins, 2012). Apesar dos recentes apelos para melhorar o manejo de áreas úmidas na Amazônia através das ações contempladas pela Convenção de Ramsar, não existe uma avaliação regional que quantifique a situação atual de conversão do uso e cobertura da terra nessas importantes áreas. Além disso, não se sabe como essas áreas vêm sendo transformadas em comparação às áreas não sujeitas a inundação, conhecidas como terra firme.

A preservação das funções ecológicas das áreas úmidas depende do monitoramento contínuo das mudanças no uso e cobertura da terra ao longo do tempo. Nos últimos anos, esse monitoramento tem sido facilitado pelo avanço dos dados geoespaciais de acesso aberto e pelo uso de algoritmos em nuvem. Para a região amazônica, por exemplo, Fleischman *et al.* (2021) reuniram 29 bases de dados sobre a extensão das inundações na bacia amazônica, resultando em um produto de acesso livre que permite identificar, com resolução espacial de 1 km, a área de concordância da extensão máxima sujeitas a inundação, ou seja, áreas úmidas. Complementando essa base, o projeto MapBiomass tem se destacado na geração de mapas anuais de uso e cobertura da terra para todo o Brasil, com resolução de 30 metros. Com base nesses esforços anteriores, nós apresentamos aqui o primeiro diagnóstico espacial e temporal da conversão de áreas úmidas na maior bacia hidrográfica do mundo, a Amazônica, no período entre 1985 e 2023 (38 anos).

METODOLOGIA



XII
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS
DESIGUALDADES SOCIAIS
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA

A análise do uso e cobertura da terra nas áreas úmidas amazônicas teve como ponto de partida duas fontes de dados principais: (1) o conjunto de dados de extensão de inundação compilados por Fleischmann *et al.* 2021 e (2) os produtos anuais do MapBiomas para definir a transição de uso e cobertura da terra, de 1985 a 2023 (Souza *et al.*, 2020).

Delimitação da planície de inundação

As áreas úmidas foram delineadas usando o conjunto de dados de extensão de inundação de Fleischmann *et al.* (2021), que integra 29 produtos de sensoriamento remoto e modelagem hidrológica para identificar áreas da bacia da amazônica com a maior concordância espacial para inundação, desconsiderando as sub-bacias sujeitas aos efeitos oceânicos de marés que também influenciam o padrão de inundação (Tocantins e Foz do Rio Amazonas). Os pixels não inundados foram considerados áreas de terra firme, resultando em um mapa de concordância espacial de inundação de 1 km na área de estudo (Figura 1).

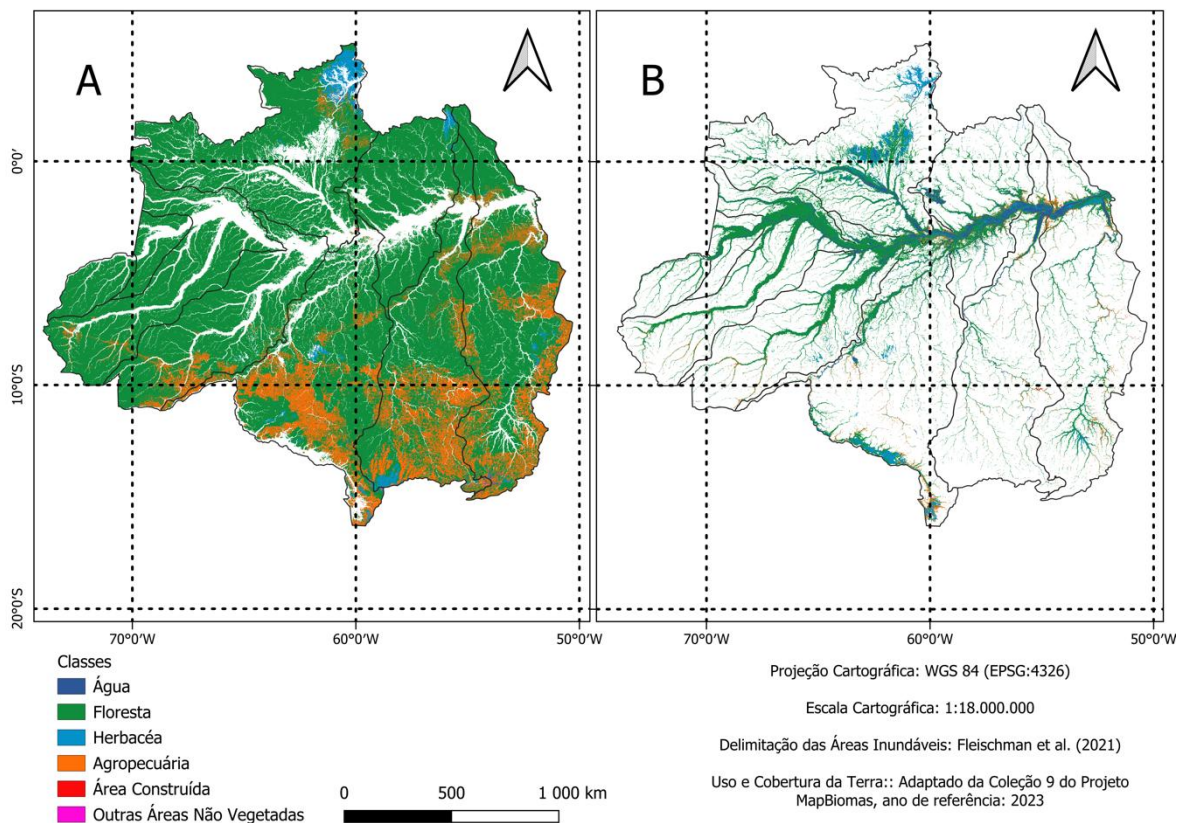


Figura 1: Uso e cobertura da terra da bacia amazônica para 2023. Mapa A – Terra Firme, Mapa B – Áreas Úmidas. (fonte: Mapas elaborados pelos autores utilizando dados do MapBiomas).



Transição do uso e cobertura da terra

Utilizamos os dados do projeto MapBiomass, que produz mapas anuais de uso e cobertura da terra no Brasil por meio de um modelo de classificação Random Forest, treinado com a supervisão de especialistas de cada bioma brasileiro. Esse modelo é aplicado a imagens da coleção Landsat, processadas na plataforma Google Earth Engine. A Coleção 9 do MapBiomass disponibiliza informações em 43 classes de uso e cobertura da terra, para o período de 1985 a 2023, com resolução espacial de 30 metros e formato GeoTIFF. Nesta análise, examinamos as transições de uso e cobertura da terra em áreas úmidas e terra firme em intervalos de dez anos entre 1985 a 2015 (1985-1995, 1995-2005, 2005-2015) e oito anos até 2023 (2015-2023).

Com base nas 43 classes da Coleção 9 do MapBiomass, fizemos a reclassificação para seis classes generalistas, seguindo a classificação de nível 1 da estrutura do MapBiomass: **Água** (Ag), incluindo todas as classes de corpos d'água, **Floresta** (Fl), incluindo todas as classes de floresta, **Herbácea** (Hb), incluindo todas as classes de vegetação não florestal, **Agropecuária** (Ap), incluindo todas as classes de terras cultiváveis e pastagens, **Área Construída** (Ac), incluindo todas as classes de construção humana e modificações antrópicas, como áreas urbanas e cobertas por mineração, **Outras Áreas não Vegetadas** (On), contendo as outras áreas de areia, não vegetadas e não observadas. Essa reclassificação reduziu a demanda computacional, ao mesmo tempo, preservou os recursos dominantes de cobertura da terra do conjunto de dados original, mantendo uma acurácia geral de 93,09%.

Fizemos uma análise de transição de cobertura da terra para as áreas úmidas e terra firme para quantificar ganhos, perdas e mudanças líquidas e brutas em todas as classes. Calculamos o grau de alteração humana nas áreas úmidas e terra firme de acordo com índice desenvolvido por Rajib *et al.*, 2023:

$$\text{Grau de alteração humana} = \frac{\sum \text{Uso da Terra} \cdot \text{Mudança de área}}{\sum \text{Extensão total}}$$

A equação consiste em calcular a área total da mudança de cobertura da terra atribuída às atividades humanas em uma região específica, dividida pela extensão da área total. A mesma métrica foi calculada para áreas úmidas e terra firme. As alterações humanas são identificadas



em células de grade onde ocorrem transições, especificamente de áreas florestais para áreas construídas, de florestas para agropecuária, de herbáceas para áreas construídas e de herbáceas para agropecuária.

Todas as análises foram realizadas na plataforma Google Earth Engine e no software R com os pacotes terra (Hijmans R, 2025) para processar imagens raster e OpenLand (Aldwaik & Pontius, 2012) para a análise de transição de uso e cobertura da terra para séries temporais.

RESULTADOS

A análise de 38 anos de uso e cobertura da terra revelou padrões de transição semelhantes entre áreas úmidas e de terra firme, embora com diferentes níveis de modificação humana. De maneira geral, ambas as regiões apresentaram aumento da agropecuária e redução significativa das áreas cobertas por florestas e vegetação herbácea entre 1985 e 2023.

Nas áreas úmidas, observou-se uma perda de 25.825,3 km² de florestas e 5.855,4 km² de vegetação herbácea. Em contrapartida, houve um acréscimo de 25.195,9 km² de áreas agropecuárias e 997,6 km² de áreas construídas. Na terra firme, as mudanças foram ainda mais expressivas: perda de 373.298,4 km² de florestas e 8.897,3 km² de vegetação herbácea, acompanhada de um aumento de 378.833 km² em agropecuária e 2.578,4 km² em áreas construídas.

A cobertura de água variou ao longo do período, mas apresentou crescimento, com um acréscimo de 5.354,4 km² nas áreas úmidas e 359,8 km² na terra firme. As outras áreas não vegetadas também aumentaram: 130 km² em áreas úmidas e 790 km² em terra firme.

Essas mudanças, tanto líquidas quanto brutas, evidenciam contrastes importantes entre os dois tipos de ambiente, conforme ilustrado na Figura 2.

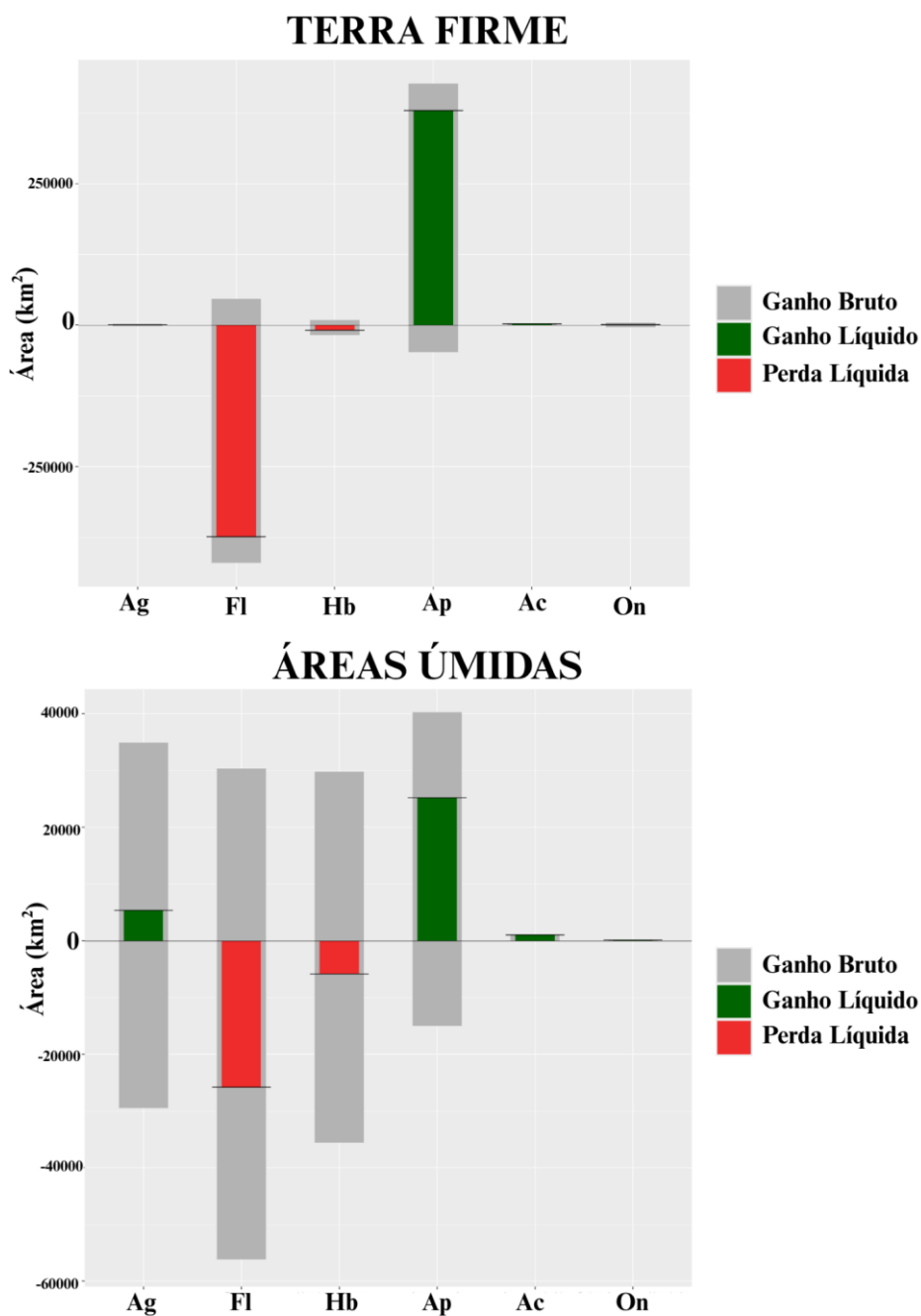


Figura 2: Mudanças líquidas e brutas nas classes de uso e cobertura da terra para terra firme (superior) e áreas úmidas (inferior). Ag - Água, Fl - Floresta, Hb - Herbácea, Ap - Agropecuária, Ac - Área Construída e On - Outras Áreas não Vegetadas. (fonte: elaborado pelos autores no R baseado nos dados do MapBiomass).



Um nível mais pronunciado de modificação humana foi observado na terra firme em comparação com as áreas úmidas. O período de 1995 a 2005 marcou uma fase significativa de modificação humana nas áreas úmidas e terra firme. Após uma relativa queda na década seguinte, as áreas de terra firme e áreas úmidas apresentaram uma crescente de modificação humana após 2015 (Figura 3).

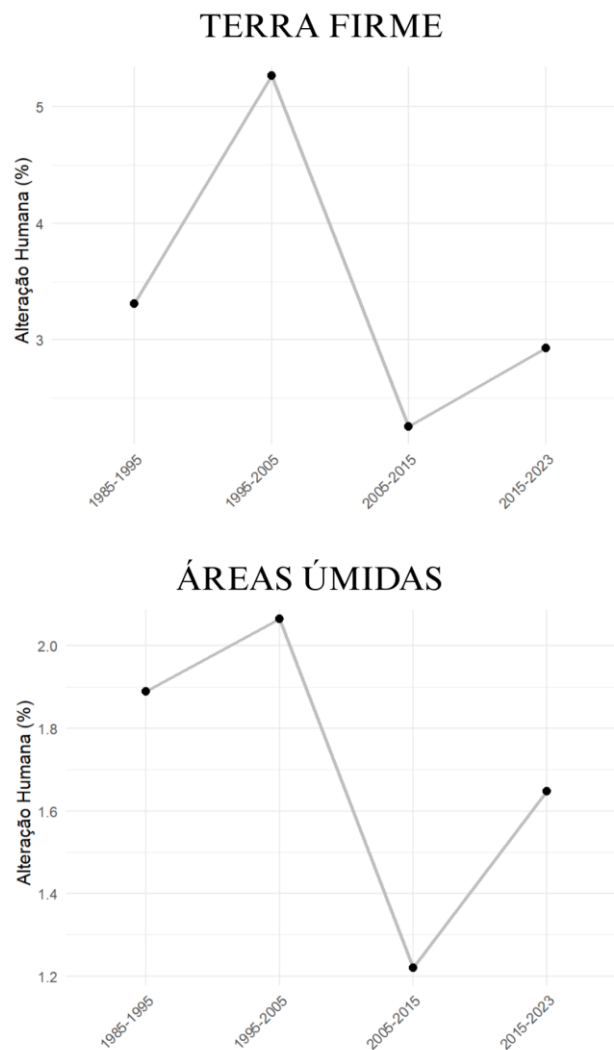


Figura 3: Alteração Humana da paisagem ao longo de 38 anos para terra firme (superior) e áreas úmidas (inferior). (fonte: Métrica baseada no índice desenvolvido por Rajib *et al.* 2023 e calculado com dados de uso e cobertura da terra do MapBiomas).



DISCUSSÃO

Esse estudo revelou que as áreas úmidas sofreram com menor influência de modificação humana em comparação às áreas de terra firme. Apesar da relativa conservação, o estudo demonstra que a bacia Amazônica perdeu aproximadamente 29.221,34 km² de vegetação nativa nas áreas úmidas (florestal e herbácea) ao longo de 38 anos (1985–2023), cerca de 20 vezes o tamanho da cidade de São Paulo. A conversão de florestas e vegetações herbáceas ocorreu especialmente para novas áreas agropecuárias em 28.388,23 km² e 833,11 km² para áreas construídas. Nos últimos anos, o aumento da alteração humana reforça a urgência de políticas eficazes para conservar e usar de forma sustentável esses ambientes sensíveis (Flores *et al.* 2017).

Historicamente, as áreas úmidas localizadas nas margens dos grandes rios amazônicos, as planícies alagáveis, foram ocupadas por populações tradicionais, devido à facilidade de acesso e à elevada produtividade, favorecendo ao surgimento de grandes cidades, como Manaus e Porto Velho. Observamos um aumento de áreas construídas nesses ambientes, assim como as áreas agropecuárias, ao mesmo tempo que ocorreu uma redução das áreas cobertas por florestas e herbáceas, indicando um possível processo contínuo de desmatamento nas áreas úmidas. Esses resultados oferecem uma visão detalhada da dinâmica espaço-temporal das transformações nas áreas úmidas nas últimas décadas, que serve como apoio para gerar políticas públicas para esses importantes ambientes.

A escala e a velocidade das mudanças no uso e cobertura da terra em áreas úmidas da Amazônia, reveladas por este estudo, especialmente nos últimos anos, são alarmantes. No entanto, essas tendências ainda podem ser interrompidas ou revertidas, e os dados aqui apresentados têm potencial para apoiar decisões estratégicas de governos e partes interessadas em múltiplas escalas. Primeiramente, a análise aponta oportunidades críticas para o planejamento espacial, de tal forma que ocorra um apoio a seguros de terras vulneráveis, especialmente áreas propensas a inundações que foram recentemente convertidas em agropecuárias ou áreas construídas. Nos Estados Unidos, por exemplo, a Federal Emergency Management Agency (FEMA) financia programas voltados à mitigação de riscos, incluindo a compra de terras suscetíveis, como forma de prevenir prejuízos futuros (Rajib *et al.*, 2023). De modo semelhante, nossa análise pode ser utilizada para complementar informações sobre



modelos climáticos e hidrológicos para evitar perdas causadas por inundações e secas, utilizando a ciência para nortear fundos destinados à redução de riscos de eventos climáticos extremos na Amazônia.

A análise também pode apoiar a formulação de restrições de zoneamento que limitem novas conversões de áreas úmidas, contribuindo para a redução do risco a populações e propriedades, diminuindo os custos futuros de gerenciamento e recuperação de desastres. Essa análise pode ainda apoiar políticas agropecuárias mais sustentáveis, incluindo a revisão de subsídios que favorecem à expansão de monoculturas em regiões de alto risco de inundação. Em contrapartida, os incentivos políticos e financeiros poderiam ser redirecionados para fortalecer iniciativas baseadas na sociobiodiversidade amazônica, mais adaptados ao pulso de inundação (Pinedo-Vasquez & Sears, 2011), que conciliam conservação da floresta em pé com a valorização do protagonismo de povos e comunidades tradicionais (Brondízio, 2025).

De modo geral, a conversão significativa de florestas e herbáceas de áreas úmidas em agropecuária e áreas construídas, conforme quantificado por esta análise, indica uma maior vulnerabilidade desses ambientes modificados aos impactos de inundações extremas. Essa transformação pode intensificar os efeitos de desastres naturais, comprometendo tanto a produtividade agropecuária quanto o bem-estar das populações urbanas, que atualmente representam a maioria dos habitantes da Amazônia.

Diante da crescente urgência em fortalecer a resiliência e a adaptação frente às mudanças climáticas e eventos extremos, a governança das áreas úmidas amazônicas pode se beneficiar fortemente desta análise para orientar investimentos em soluções baseadas na natureza, focando especialmente na restauração e na conservação das áreas úmidas nativas remanescentes. Além disso, dado que a análise evidenciou o avanço de áreas construídas em áreas úmidas, o estudo traz informações para ressignificar a expansão urbana amazônica. Nossa análise levanta a oportunidade de um novo planejamento urbano que considere as características sazonais de influência do pulso de inundação. Com isso, torna-se possível desenvolver estratégias únicas de engenharia e urbanismo, como as cidades esponja desenvolvidas na China (Faiza *et al.*, 2023).

Ainda, a degradação das áreas úmidas pode alterar profundamente as dinâmicas ecológicas, resultando na perda de importantes serviços ecossistêmicos essenciais à manutenção da qualidade de vida local. Outro impacto relevante é o aumento potencial das



emissões de carbono provenientes da biomassa e dos solos, consequência direta do desmatamento e da eliminação de sumidouros naturais de carbono, como florestas de áreas úmidas bem conservadas (Simpson *et al.* 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstra que o uso de tecnologias geoespaciais com dados de acesso aberto, aliado a algoritmos em nuvem possibilita análises profundas para a gestão ambiental das áreas úmidas da Amazônia. A quantificação e espacialização das mudanças no uso e cobertura da terra em áreas úmidas entre 1985 e 2023 oferecem um panorama inédito, essencial para subsidiar políticas públicas eficazes.

Como signatário da Convenção de Ramsar, o Brasil tem o compromisso de proteger e restaurar as áreas úmidas. Os resultados reforçam a urgência de decisões políticas mais firmes para frear a conversão das áreas úmidas e preservar suas funções ecológicas e sociais. Nesse sentido, é fundamental implementar políticas que desestimulem práticas insustentáveis e incentivem ações de restauração, visando reduzir riscos à saúde, infraestrutura e economia das populações locais, especialmente as ligadas à agropecuária.

Tais medidas devem incluir soluções baseadas na natureza com alto potencial para enfrentar as mudanças climáticas, que garantem a integridade funcional das áreas úmidas. Ao garantir a conservação e uso sustentável das áreas úmidas, isso inclui a manutenção da qualidade da água, o sequestro de carbono, a preservação da biodiversidade e a valorização dos modos de vida tradicionais que historicamente dependem desses ambientes.

REFERÊNCIAS

ALDWAIK, S. Z.; R. G. PONTIUS. Intensity Analysis to Unify Measurements of Size and Stationarity of Land Changes by Interval, Category, and Transition. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdã, v. 106, t. 1, p. 103-114, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.02.010>.

BRONDIZIO, E.S. The entangled Indigenous, rural, and urban realities in Amazônia's governance. **Ambio**, Nova Iorque, v. 54, p. 923–931, 2025. <https://doi.org/10.1007/s13280-025-02183-z>



FAIZA, C. *et al.* Review of Sponge City implementation in China: performance and policy. **Water Science and Technology**, Londres, v. 88, t. 10, p. 2499–2520, 2023. <https://doi.org/10.2166/wst.2023.312>

FEARNSIDE, P.M. *et al.* Chapter 20: Drivers and Impacts of Changes in Aquatic Ecosystems. In: NOBRE, C. *et al.* **Amazon Assessment Report 2021**. United Nations Sustainable Development Solutions Network, Nova Iorque. DOI: 10.55161/IDMB5770

FINER M; JENKINS, C.N. Proliferation of Hydroelectric Dams in the Andean Amazon and Implications for Andes- Amazon Connectivity. **PLoS One**, São Francisco, v.7, p. e35126, 2012. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035126>.

FLORES, B. *et al.* Floodplains as an Achilles' Heel of Amazonian Forest Resilience. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washigton, 114, no. 17, p. 4442-4446, 2017. <https://doi.org/10.1073/pnas.1617988114>.

FLUET-CHOUINARD, E. *et al.* Extensive global wetland loss over the past three centuries. **Nature**, Londres, v.614, p. 281–286, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05572-6>.

HIJMANS, R. **terra: Spatial Data Analysis**. R package version 1.8-56, 2025. Disponível em: <https://github.com/rspatial/terra>. Acesso em: 20/06/2025.

JUNK, W.J.; BAYLEY, P.; SPARKS, R.E. The flood pulse concept in river floodplain systems. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Toronto, v.106, p. 107-127, 1989. Disponível em: https://www.waterboards.ca.gov/bay_delta/docs/cmmt081712/sldmwa/junketal1989.pdf, Acesso em: 15/06/2025

JUNK, W.J. *et al.* Brazilian wetlands: Their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation**, v. 24, p. 5–22, 2014. <https://doi.org/10.1002/aqc.2386>.

KUMAR, R.; HORWITZ, P.; FINLAYSON, C.M. Wetlands as social–ecological systems: Bridging nature and society. **Ramsar Wetlands**, Elsevier, Amsterdã, 2023, p. 525–53. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817803-4.00021-8>.

PINEDO-VASQUEZ, M.A; SEARS, R.R. Várzea Forests: Multifunctionality as a Resource for Conservation and Sustainable Use of Biodiversity. In: PINEDO-VASQUEZ, M. *et al.* **The Amazon Várzea**. Springer, Dordrecht, p. 187–206, 2011. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0146-5_14

RAJIB, A. *et al.* Human Alterations of the Global Floodplains 1992–2019. **Scientific Data**, Londres, v. 10, t. 1, p. 1-13, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02382-x>.

RAMSAR CONVENTION. **An Introduction to the Ramsar Convention on Wetlands**. Ramsar Convention Secretariat, 7 ed, Gland, Suíça, 2016. Disponível em:



XII
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS
DESIGUALDADES SOCIAIS
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/handbook1_5ed_introductiontoconvention_final_e.pdf. Acesso em: 30/06/2025.

SIMPSON, M.; EVERARD, M.; RICAURTE, L.; MCINNES, R.J. Ecosystem services. **Ramsar Wetlands**, Elsevier, Amsterdã, p. 179–194, 2023. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817803-4.00014-0>.