

SECAS SEVERAS NA AMAZÔNIA EM 2023 E 2024: DETECÇÃO E MONITORAMENTO COM IMAGENS DE SATÉLITES.

Bruno Gama Ferreira ¹, Ives Medeiros Brandão ², Carlos Souza Jr.³
^{1,2,3}

Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia

bruno@imazon.org.br¹ ives@imazon.org.br² souzair@imazon.org.br³

RESUMO

A Amazônia enfrentou uma seca histórica em 2023, agravada em 2024 com impactos ambientais e sociais severos. Em 2023, detectamos uma perda cumulativa mensal de 3,3 milhões de hectares de superfície d'água. De janeiro a setembro de 2024, a perda chegou a 2,2 milhões. Monitoramos mensalmente com imagens Landsat e Sentinel-1 e 2, comparando as secas dos dois anos e as áreas afetadas. Em 2024, a seca se estendeu ainda mais para as bacias do Trombetas, Solimões e Madeira. Analisamos também a correlação do nível dos rios das estações hidrológicas, com a perda de superfície de água. Até setembro de 2024, a seca foi 83% mais severa que em 2023. A integração de dados satelitais e hidrológicos pode contribuir para monitorar e apoiar ações de adaptação às mudanças climáticas. Diante de secas consecutivas como as de 2023 e 2024, torna-se imperativo acelerar a agenda de desmatamento zero para a Amazônia.

Palavras-chave — Amazônia, Seca, MapBiomias Água, Sensoriamento Remoto, Google Earth Engine.

ABSTRACT

The Amazon faced a historic drought in 2023, worsened in 2024 with severe environmental and social impacts. In 2023, we detected a cumulative monthly loss of 3.3 million hectares of water surface. From January to September 2024, the loss reached 2.2 million hectares. We conducted monthly monitoring with Landsat and Sentinel-1 and 2 images, comparing the droughts of both years and the affected areas. In 2024, the drought extended even further into the Trombetas, Solimões, and Madeira basins. We also analyzed the correlation between river levels from hydrological stations and water surface loss. By September 2024, the drought was 83% more severe than in 2023. Integrating satellite and hydrological data can support monitoring and adaptation actions for climate change. Given consecutive droughts like those of 2023 and 2024, accelerating the zero-deforestation agenda for the Amazon has become imperative.

Key words — Amazon, Drought, MapBiomias Water, Remote Sensing, Google Earth Engine.

1. INTRODUÇÃO

Em 2023, a Amazônia enfrentou uma das secas mais severas já registradas, com perda de 3,3 milhões de hectares de superfície de água [1]. O impacto foi sentido principalmente pelas comunidades locais e pela biodiversidade aquática. Ao final do ano de 2023 as notícias já apontavam que a seca se prolongaria para o ano de 2024 e, ademais, poderia ser tão ou mais grave em decorrência da continuação do El Niño [2]. O El Niño de 2023-2024 aliado a temperaturas elevadas de primavera causou impactos climáticos extremos no Brasil, com secas severas na Amazônia e enchentes no Sul [2]. Na Amazônia, o déficit de precipitação atingiu 100 mm/mês entre Setembro a Novembro de 2023, acompanhado por uma onda de calor com temperaturas até 3°C acima do normal [2]. O calor extremo agravou a evaporação, aqueceu águas superficiais em até 39°C [3] e reduziu a umidade do solo, intensificando ainda mais a seca. Simultaneamente, o Sul do Brasil enfrentou chuvas acima da média. Em Porto Alegre, Maio de 2024 teve precipitação acima de 500 mm (34% acima da média), resultando em enchentes que afetaram mais de 2,3 milhões de pessoas e perdas econômicas, especialmente no setor agrícola [4].

Na Amazônia, a seca de 2023 impactou a estação chuvosa de 2024. Com a falta de chuva e ondas de calor ainda mais severas, impulsionadas por massas de ar quente e seco e bloqueios atmosféricos, o ano de 2024 apresentava tendência de seca mais forte do que em 2023. O impacto negativo da seca facilitou a ignição e propagação de incêndios em todo o país e causou a redução superficial e nível de rios importantes na Amazônia. Alguns dos principais rios do bioma alcançaram níveis menores se comparado com o mesmo período em 2023 e com média histórica [5].

A perda de superfície de água nos rios afeta diretamente o funcionamento das bacias hidrográficas, reduzindo sua capacidade de regular o fluxo de água e afetando a disponibilidade hídrica [6]. Em agosto de 2024, as bacias localizadas nas regiões Norte (rio Madeira, Xingu e Tocantins-Araguaia), Centro-Oeste (rio Paraguai) e Sudeste (rio Paraná) enfrentaram condições de seca hidrológica [7]. Em setembro de 2024, a Agência Nacional de Água (ANA) decretou situação de escassez hídrica na bacia do rio Tapajós no trecho do baixo Tapajós, entre os municípios de Itaituba e Santarém. Além disso, o boletim divulgado pelo

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) em 16 de outubro, revelou que 31 das 32 grandes bacias hidrográficas na Amazônia apresentavam anomalias de seca, variando de -0.8 a -2.9 [8].

Nesse estudo avaliamos a perda mensal de superfície de água em 2023 e 2024 no bioma Amazônico, integrando imagens de satélites Landsat, Sentinel-1 e Sentinel-2. Em seguida, integramos os dados do monitoramento satelital com dados de estações hidrológicas de bacias hidrográficas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O bioma Amazônico ocupa 62% de sua área no Brasil, com 4,2 milhões de km² [2], abrigando a maior floresta tropical e do mundo, além de oferecer serviços ambientais e ser lar de comunidades tradicionais. Nossa análise sobre a dinâmica hídrica se concentrou além do bioma, para unidades hidrográficas propostas pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) em nível 1. Além disso, coletamos dados históricos do nível dos principais rios das bacias (Figura 1). Para isso, utilizamos as estações hidrológicas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) que possuem sistema de telemetria para o mesmo período de análise 2023 e 2024. Essas estações produzem registros automáticos das cotas da superfície de água a cada 15 minutos, sendo esses dados disponibilizados pela agência reguladora. Utilizamos scripts para acessar e baixar os dados das estações hidrológicas para todas as estações do bioma, a partir de uma API (*Application Programming Interface*), considerando o primeiro dado disponível em cada estação. Foram priorizadas estações hidrológicas próximas às foz dos principais rios, pois fornecem dados completos e mais representativos do comportamento do rio e da bacia a montante, permitindo uma avaliação precisa das condições hidrográficas [9].

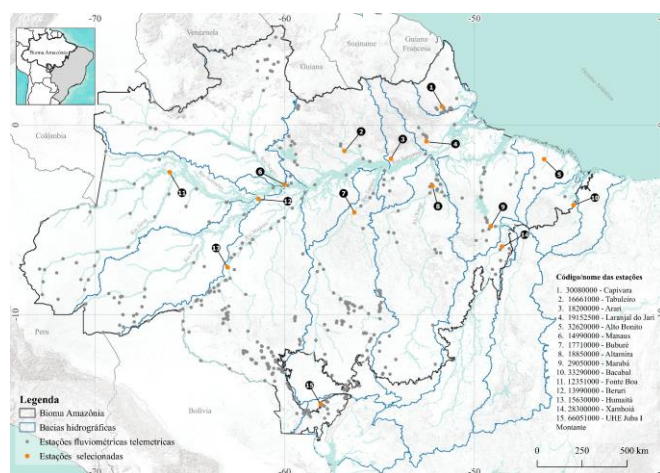


Figura 1. Limite da Amazônia Brasileira, Bacias Hidrográficas (PNRH nível 1) e localização das estações utilizadas para avaliar o nível de água nos principais rios afetados pela seca de 2023 e 2024.

2.2 Processamento de dados

Usamos imagens multiespectrais do sensor Sentinel-2 e de radar do Sentinel-1 para detectar mudanças na superfície de água nos anos de 2023 e 2024. A comparação das águas superficiais entre os anos foi feita através de mosaicos mensais gerados a partir dos dados desses satélites, permitindo mapear tanto a perda quanto o ganho de superfície de água.

O mapeamento da superfície de água com o Sentinel-2 foi realizado em escala subpixel, utilizando o modelo de mistura espectral (MME). Foram aplicadas as bandas vermelho, verde, azul, infravermelho próximo e infravermelho médio. Esta abordagem possibilita estimar a proporção de componentes como vegetação verde, vegetação não fotossintética, solo, sombra e nuvem em cada pixel.

A aplicação do MME resulta em bandas que representam a composição dos "endmembers" (componentes puros) espectrais, modelados com estimativas de suas abundâncias. A superfície de água, devido à sua baixa refletância, exibe um comportamento escuro e, portanto, apresenta uma alta porcentagem do membro final "Shade" (sombra) em cada pixel. Assim, o modelo MME possibilita a detecção de água em ambientes complexos onde há mistura de solo e vegetação [1,10].

As imagens dos endmembers geradas com MME foram integradas em regras empíricas de lógica *fuzzy*, com o objetivo de calcular um índice de associação de água que varia de 0 (baixa associação de água) a 1 (alta associação de água).

Para evitar a obstrução das nuvens no sensor óptico, usamos também as imagens do Sentinel-1. As bandas de polarização VV do Sentinel-1 foram processadas para o mesmo período do Sentinel-2, comparando os anos de 2022 (t0) com 2023 (t1) para avaliar a seca de 2023, e os anos de 2023 (t0) com 2024 (t1) para detectar a seca de 2024, utilizando mosaicos mensais. A detecção de mudanças classificou perda de água onde o Sentinel-1 apresentou ≤ -5 dB e o Sentinel-2 $\leq -0,3$, e ganho de água com mudanças no Sentinel-1 ≥ 8 dB e Sentinel-2 $\geq 0,67$ (Figura 2). Falsos positivos no estuário foram removidos por meio de interpretação visual.

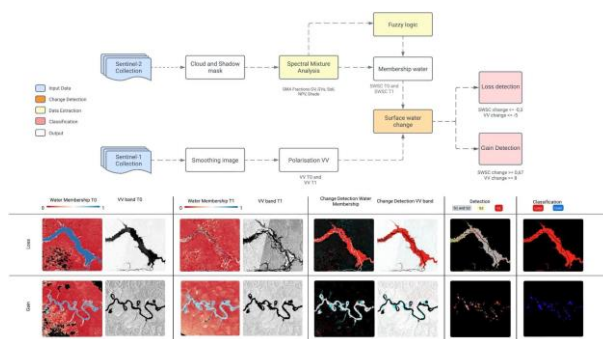


Figura 2. Metodologia para detectar mudanças de superfície de água com imagens Sentinel-1 e Sentinel-2 [1].

2.3 Análise de dados

Analizamos os mapas de perda de superfície de água dos períodos 2022-2023 e 2023-2024, integrando-os com os limites do bioma Amazônico e as bacias hidrográficas de nível 1. No Google Earth Engine, processamos a superfície de água mensal de 2023 e de 2024 (até janeiro) para cada bacia, incluindo os níveis de água dos principais rios. Além disso, integramos os dados de 2023 e 2024 de superfície de água, com a série histórica do utilizados MapBiomás Água (1985 a 2022) para estimar a correlação entre a superfície de água e o nível dos rios em cada bacia da área de estudo no período de 1985 a 2024.

3. RESULTADOS

Em 2023 e 2024, a superfície de água na Amazônia ficou consistentemente abaixo da média histórica, com o primeiro trimestre de 2024 mostrando perda acentuada, especialmente em março, que registrou um aumento de 273 mil hectares em comparação ao ano anterior. O segundo trimestre de 2024 foi menos seco, indicando um início tardio do período chuvoso. No entanto, de julho a setembro, a seca começou mais cedo e foi mais severa em 2024. Em setembro, a superfície de água caiu para 9,7 milhões de hectares, uma redução de 9% em relação ao mesmo mês de 2023.(Figura 3).

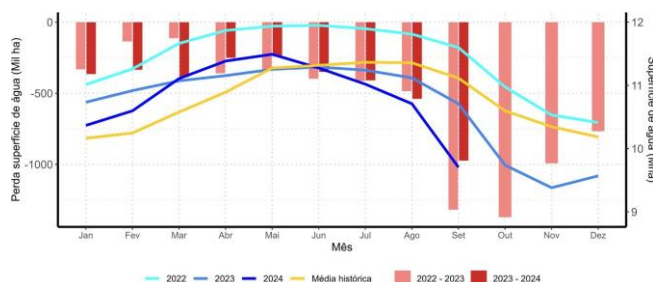


Figura 3. Correlação entre o nível dos principais rios de cada bacia hidrográfica e a perda de superfície de água no ano de 2023 e 2024

Até setembro de 2024, a perda total de superfície de água já atingia 2,2 milhões de hectares, o que corresponde a 65% do total registrado em todo o ano de 2023. Mas, quando comparado com o mesmo período em 2022, a perda foi de 2,8 milhões de hectares. Do total de perda de superfície de água em 2024, 70% concentrou em quatro bacias da Amazônia: Trombetas, Negro, Solimões e Madeira (Figura 4). A bacia do Trombetas, que foi a mais afetada em 2023 com uma perda de 1 milhão de hectares, registrou 667 mil hectares perdidos de janeiro a setembro de 2024, o que representa cerca de 64,8% do total do ano anterior. A bacia do Negro, que havia perdido 600 mil hectares em 2023, acumulou 368 mil hectares no período analisado no ano seguinte, alcançando 61,2% do valor anterior. Já a bacia

do Solimões registrou uma perda de 343 mil hectares, correspondendo a 86,8% do total de 2023. Na Bacia do Madeira, as perdas em 2024 já superaram as de 2023, com 337 mil hectares perdidos este ano, em comparação com os 329 mil hectares do ano anterior. Além dessas, outras na Amazônia Oriental, como Tapajós e Xingu, que não tiveram tanto destaque durante a seca de 2023, apresentaram um aumento expressivo na perda de superfície de água de janeiro a setembro de 2024. Tapajós e o Xingu perderam 83% e 94%, respectivamente, do que haviam perdido ao longo de todo o ano de 2023. Em relação a 2022, as perdas foram 10% e 61% maiores.

A acurácia do mapeamento de perda e ganho de água em foi conduzida apenas para 2023, com 92% de acurácia global, e 83% e 71% de acurácia do produtor e do usuário, respectivamente (ver artigo [1] para mais detalhes). Assumimos que para 2024, a acurácia seja equivalente.

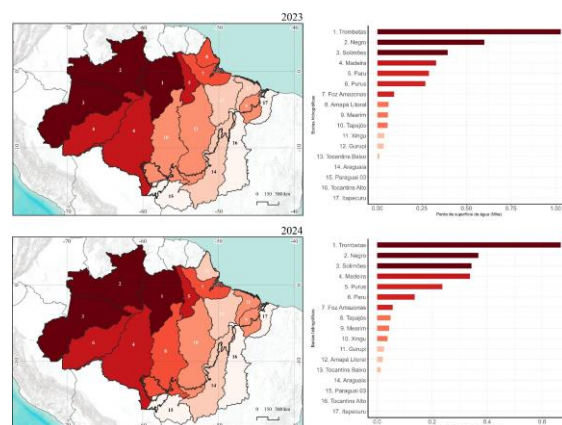


Figura 4. Ranking das bacias hidrográficas mais afetadas com perda de superfície de água em 2023 e 2024.

A perda de superfície de água apresentou uma alta correlação (i.e., R^2 entre -0.5 e -0.9) com o nível dos rios (Figura 5). Para as 15 bacias avaliadas, oito tiveram a correlação acima dos -0,7, outras sete ficaram entre -0,5 e -0,7. As bacias do Purus, Solimões e Trombetas se destacam, todas com uma correlação próximo ou acima de -0,9, indicando uma elevada associação entre as variações no nível dos rios e na perda de superfície de água. Por outro lado, algumas bacias, como Araguaia (-0,51), apresentaram correlações mais baixas.

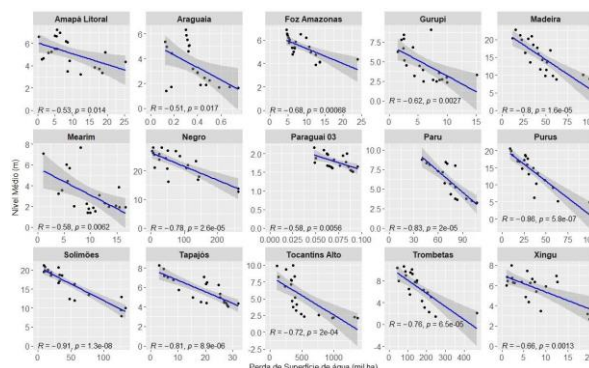


Figura 5. Correlação entre nível dos principais rios e perda de superfície de água em 2023 e 2024.

4. DISCUSSÃO

As secas consecutivas na Amazônia em 2023 e 2024 refletem o agravamento dos impactos das mudanças climáticas na região [1]. O aumento das temperaturas globais, intensificado pelo fenômeno El Niño, resultou em uma seca severa que levou a uma drástica perda de superfície de água, afetando ecossistemas aquáticos e comunidades ribeirinhas [9]. A estiagem de 2023 se prolongou até 2024, reduzindo a duração e a intensidade da estação chuvosa [2]. Em estados como Roraima, as chuvas atrasaram em um mês, enquanto no Mato Grosso a estação chuvosa foi encurtada, comprometendo a recarga de solos e rios [2, 11]. O desmatamento agrava a retenção de água no solo, intensificando a variação de vazão dos rios. A estiagem de 2024 deve ser ainda mais severa que a de 2023, afetando o bioma e a segurança hídrica da região. Além disso, o aumento das temperaturas e a intensificação da evapotranspiração resultam em um balanço hídrico negativo, onde a perda de água para a atmosfera supera a reposição por precipitação [12], intensificando os efeitos da seca. Tudo isso impacta diretamente os serviços ecossistêmicos das bacias hidrográficas, como a regulação do ciclo hidrológico, a produção de energia hidrelétrica e a irrigação agrícola, além de comprometer a segurança hídrica das populações que dependem desses recursos [6].

O monitoramento da perda de superfície de água, junto aos dados hidrológicos dos rios amazônicos, é essencial para apoiar políticas de adaptação e mitigação às mudanças climáticas. Essa abordagem deve ser complementada por ações de preservação dos ecossistemas aquáticos e apoio às comunidades locais, visando à sustentabilidade e resiliência das áreas afetadas.

5. CONCLUSÕES

1. A seca de 2024 foi mais severa e antecipada que a de 2023, afetando 2,2 milhões de hectares até setembro (65% da área de todo o ano anterior), com impactos intensos na biodiversidade e na socioeconomia regional;
2. 70% de toda a superfície de água perdida está concentrada em quatro bacias hidrográficas da Amazônia ocidental: Trombetas, Negro, Solimões e Madeira;
3. A seca de 2024 impactou fortemente as bacias do Tapajós e Xingu, que perderam 60 mil e 40 mil hectares de superfície de água, correspondendo a 83% e 94% das perdas totais de 2023, respectivamente;
4. Há forte correlação entre superfície de água e nível dos rios, em média 71%. Esse resultado favorece o monitoramento das águas e fornece subsídio para modelagem hidrológica e a gestão de recursos hídricos frente às mudanças climáticas;
5. A perda de superfície de água na Amazônia expõe sua vulnerabilidade às mudanças climáticas, ressaltando a urgência de mitigar pressões como desmatamento e garimpo. São essenciais políticas de conservação,

recuperação de áreas degradadas e apoio às comunidades locais para enfrentar a escassez hídrica.

6. REFERÊNCIAS

- [1] C.M. Souza *et al.* Amazon severe drought in 2023 triggered surface water loss. **Environmental Research Climate**, v. 3, p. 041002, 2024.
- [2] J. Marengo *et al.* The Drought of Amazonia in 2023-2024. **American Journal of Climate Change**, v. 13, p. 567-597, 2024.
- [3] R.A. Silva.; P.M. Fearnside. “A seca de 2023 na Amazônia terá muito estrago pela frente”. *Amazônia Real*, 26, 2023.
- [4] J.A. Henkes; K.W. Henkes. Um relato sobre a tragédia climática e ambiental: Os efeitos das enchentes de maio de 2024 no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 4(2), p. 190-214, 2024
- [5] ANA (Agência Nacional de Água e Saneamento Básico) Hidrotelemetria. 2024. ([available at: www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Default.html](http://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Default.html))
- [6] T.J. Peterson *et al.* Watersheds may not recover from drought. **Science**, v. 372, p. 745-749, 2021.
- [7] CEMADEM (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais). NOTA TÉCNICA Nº 529/2024/SEI-CEMADEN. 2024.
- [8] R.C. Senna *et al.* Boletim de Monitoramento Climático de Grandes Bacias. v.4, n.42. 2024.
- [9] M.F. Pereira *et al.* Importance of monitoring and availability of hydrological data for integrated water resources management. **Sociedade & Natureza**, [S. l.], v. 32, p. 308–320, 2020.
- [10] C.M. Souza, *et al.* Long-term annual surface water change in the Brazilian Amazon Biome: Potential links with deforestation, infrastructure development and climate change. **Water**, v.11, n.3, p.566, 2019.
- [11] L.F.S.A. Commar *et al.* Mato Grosso’s rainy season: past, present, and future trends justify immediate action. **Environmental Research Letters**, v. 19, p. 114065, 2024.
- [12] C.W. Thornthwaite, C. W.. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38(1), p. 55-94. 1948.