

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

IMAGENS DE SATÉLITES PROCESSADAS EM NUVENS E FERRAMENTA DE BUSINESS INTELLIGENCE PARA MONITORAMENTO DO USO E COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO AMAZÔNICA

Angélica Rodrigues Rocha¹ & Flávio Wachholz²

Abstract: The main objective of this study was to map land use and land cover in a periurban watershed located in the city of Manaus, capital of the state of Amazonas, in the western portion of the Brazilian Amazon. In addition, it was sought to develop an interactive panel capable of representing the temporal evolution of land cover and land use in the spatial cutout analyzed, covering the period from 1984 to 2023. For this purpose, images from the Landsat time series were used, from which data acquisition and processing in the Google Earth Engine platform was carried out, with the application of the Random Forest machine learning technique in the classification of thematic classes. Then, the generated products were exported to QGIS and Power BI environments, used respectively for the elaboration of thematic maps and the construction of the interactive panel. It was found that the Tarumã-Açu Basin is inserted in a continuous process of landscape transformation, marked mainly by the advance of urbanization and reduction of areas covered by arboreal vegetation. Such changes can directly compromise the supply of essential ecosystem services to the city of Manaus, such as the regulation of water regime, temperature control and biodiversity conservation, at the same time they highlight the fragility of the current model of urban and environmental planning.

Keywords – Tarumã-açu; Google Earth Engine; Power BI.

Resumo: O estudo teve como objetivo principal mapear o uso e a cobertura da terra em uma bacia hidrográfica periurbana localizada no município de Manaus, capital do estado do Amazonas, na porção ocidental da Amazônia brasileira. Além disso, buscou-se desenvolver um painel interativo capaz de representar a evolução temporal da cobertura e do uso da terra no recorte espacial analisado, abrangendo o período de 1984 a 2023. Para tanto, foram utilizadas imagens da série temporal Landsat, a partir das quais foram realizadas a aquisição e o processamento dos dados na plataforma *Google Earth Engine*, com a aplicação da técnica de aprendizado de máquina *Random Forest* na classificação das classes temáticas. Em seguida, os produtos gerados foram exportados para os ambientes *QGIS* e *Power BI*, utilizados, respectivamente, para a elaboração dos mapas temáticos e a construção do painel interativo. Constatou-se que a bacia hidrográfica do Tarumã-Açu encontra-se inserida em um processo contínuo de transformação da paisagem, marcado principalmente pelo avanço da urbanização e pela redução das áreas cobertas por vegetação arbórea. Tais alterações podem comprometer diretamente a oferta de serviços ecossistêmicos essenciais à cidade de Manaus, como a regulação do regime hídrico, o controle da temperatura e a conservação da biodiversidade, ao mesmo tempo em que evidenciam a fragilidade do atual modelo de planejamento urbano e ambiental.

Palavras-Chave – Tarumã-açu; Google Earth Engine; Power BI.

1) Universidade do Estado do Amazonas, Laboratório de Cartografia e Geotecnologias (LabCGEO); Manaus/AM; angelica.rocha@outlook.com
2) Universidade do Estado do Amazonas, Laboratório de Cartografia e Geotecnologias (LabCGEO); Manaus/AM; fwachholz@uea.edu.br

INTRODUÇÃO

A Amazônia é reconhecida como o bioma de maior biodiversidade do planeta, desempenhando papel essencial na regulação climática global. Sua vegetação atua como um eficiente captador de carbono atmosférico, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas, especialmente frente ao aumento das emissões de gases de efeito estufa decorrentes de atividades antrópicas (Nobre *et al.*, 2016). Por outro lado, a contínua degradação da cobertura florestal intensifica os processos de aquecimento global e agrava os efeitos do desequilíbrio climático, uma vez que o desmatamento, a degradação dos solos e as queimadas liberam grandes volumes de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, comprometendo os mecanismos naturais de regulação mantidos pela floresta (Nobre *et al.*, 2016; Romanou *et al.*, 2024).

Nesse contexto, o monitoramento do uso e da cobertura da Terra na região amazônica constitui uma estratégia essencial para promover uma gestão hídrica eficiente e ambientalmente sustentável. A vegetação influencia diretamente o ciclo hidrológico, interferindo nos processos de infiltração, escoamento superficial e evapotranspiração, os quais afetam de maneira decisiva a disponibilidade e a qualidade da água, tanto em escala local quanto regional (Lovejoy e Nobre, 2018). Além de sua relevância ecológica, o acompanhamento sistemático das transformações no uso e cobertura da terra revela-se fundamental para a conservação dos ecossistemas e para a promoção do bem-estar das populações que dependem dos recursos naturais da floresta.

A intensificação dos processos de urbanização em regiões tropicais tem gerado pressões crescentes sobre os recursos hídricos, sobretudo em bacias hidrográficas situadas em zonas de transição entre ambientes urbanos e florestais. Essa dinâmica se torna ainda mais evidente diante da frequência e intensidade dos eventos extremos registrados nos últimos anos (Lovejoy e Nobre, 2018; Romanou *et al.*, 2024). Nesse cenário, a bacia hidrográfica do Rio Tarumã-Açu destaca-se como exemplo de interação entre sistemas naturais e atividades antrópicas na Amazônia (Vasconcelos *et al.*, 2019). Localizada em uma área estratégica do território Amazonense, a bacia possui paisagens que englobam trechos de floresta densa, corpos d'água de elevada relevância ecológica e áreas urbanas em acelerado processo de expansão.

Os desafios impostos por esse contexto exigem soluções que conciliem eficiência técnica e acessibilidade para profissionais e gestores públicos. Nesse sentido, geotecnologias e plataformas digitais, como o *Google Earth Engine*, aliadas a ferramentas de visualização e análise de dados, como o *Business Intelligence*, oferecem recursos valiosos. Tais tecnologias viabilizam a produção de diagnósticos ambientais mais robustos e fundamentam a formulação de políticas públicas mais precisas, eficazes e economicamente viáveis, como a aplicação dos instrumentos de gestões preconizados na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) e contribui para a execução da Política Nacional sobre Mudanças Climáticas (Lei nº 12.187/2009).

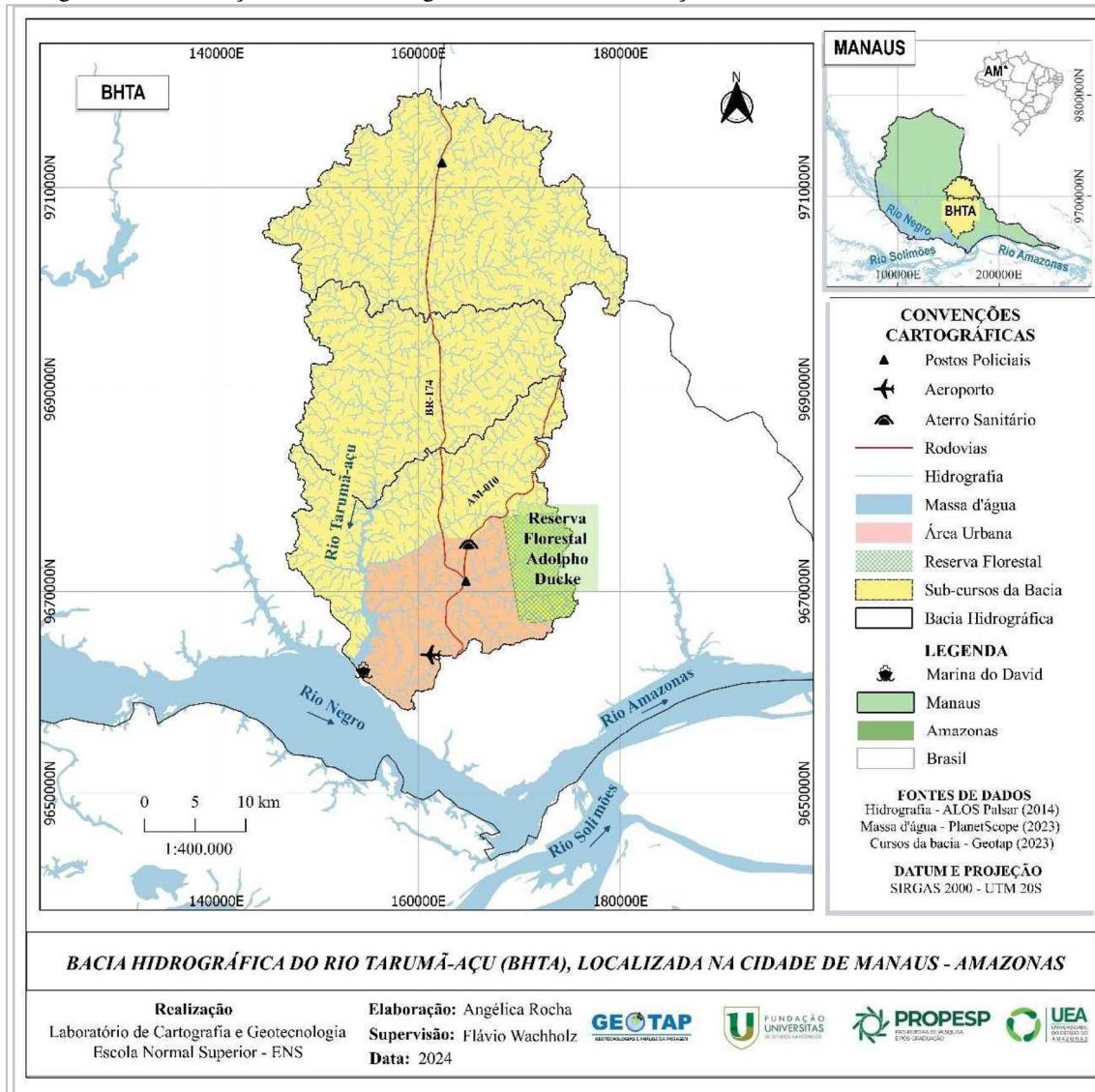
Considerando esse panorama, o presente estudo teve como objetivo principal mapear o uso e a cobertura da terra em uma bacia hidrográfica periurbana localizada no município de Manaus, capital do estado do Amazonas, na porção ocidental da Amazônia brasileira. Além disso, buscou-se desenvolver um painel interativo que representasse a evolução temporal do uso e cobertura da Terra entre os anos de 1984 e 2023, com o intuito de disponibilizar os resultados de forma acessível e orientada à tomada de decisão ambiental. Essa abordagem está em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os ODS 6 (água potável e saneamento), ODS 11 (cidades e comunidades sustentáveis), ODS 13 (ação contra a mudança global do clima), ODS 14 (vida na água) e ODS 15 (vida terrestre), ao promover o monitoramento de transformações ambientais e subsidiar estratégias de gestão territorial sustentáveis e inclusivas.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A bacia do Rio Tarumã-açu (Figura 1), situada na cidade de Manaus, Amazonas, é uma área hidrográfica de grande importância ambiental e estratégica para a região central da Amazônia. Caracterizada por sua localização periurbana, com 134.000 hectares que corresponde cerca de 12% do território do município (Vasconcelos *et al.*, 2019), a bacia abrange tanto áreas urbanizadas quanto florestas e ecossistemas naturais. O Rio Tarumã-Açu desempenha diversas atividades, como o abastecimento de água e o turismo ecológico, dada a sua beleza natural e grande biodiversidade. A bacia também se insere em diversos contextos econômicos e de planejamento, como a expansão do gasoduto, o plano de resíduos sólidos e o polo industrial de Manaus. Além de suas funções ambientais e econômicas, a bacia do Tarumã-Açu é a única na cidade com um comitê de bacia atuante, o que destaca sua importância na gestão de recursos hídricos e na formulação de políticas públicas voltadas para a sustentabilidade e preservação ambiental.

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Rio Tarumã-açu, na cidade de Manaus – Amazonas.



Fonte: Rocha e Wachholz, 2024.

Esquema metodológico

As etapas metodológicas adotadas neste estudo estão sintetizadas no fluxograma apresentado na Figura 2.

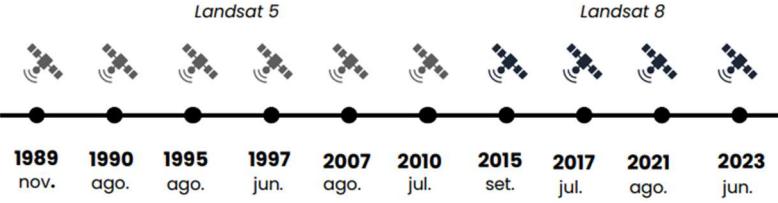
Figura 2 – Etapas metodológicas do trabalho.



Fonte: autores, 2025.

O mapeamento de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Tarumã-Açu foi realizado a partir da utilização de imagens orbitais obtidas por meio da série temporal dos satélites Landsat, abrangendo o período de 1989 a 2023 (Figura 3). As datas de aquisição foram escolhidas tendo em vista a disponibilidade de imagens sem ou com baixa presença de nuvens.

Figura 3 – Características dos satélites utilizados no estudo.

		Características dos satélites utilizados no estudo									
		Características dos satélites utilizados no estudo									
		 <p>Landsat 5</p> <p>1989 nov. 1990 ago. 1995 ago. 1997 jun. 2007 ago. 2010 jul. 2015 set. 2017 jul. 2021 ago. 2023 jun.</p> <p>Landsat 8</p>									
Landsat 5	Ano de lançamento: 1984										
	Sensor principal: Thematic Mapper (TM)										
Landsat 8	Resolução espacial: 30 metros (bandas visíveis, infravermelho próximo e médio), 120 metros (termal, reamostrado para 30 m)										
	Revisão orbital: 16 dias										
Landsat 8	Bandas (TM): Banda 1 (Azul – 0,45–0,52 µm); Banda 2 (Verde – 0,52–0,60 µm); Banda 3 (Vermelha – 0,63–0,69 µm); Banda 4 (Infravermelho Próximo – 0,76–0,90 µm); Banda 5 (Infravermelho Médio – 1,55–1,75 µm); Banda 6 (Infravermelho Termal – 10,4–12,5 µm); Banda 7 (Infravermelho Médio – 2,08–2,35 µm).										
	Ano de lançamento: 2013										
Landsat 8	Sensores principais: Operational Land Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS)										
	Resolução espacial: 30 metros (bandas ópticas), 15 metros (pancromática), 100 metros (termal)										
Landsat 8	Revisão orbital: 16 dias										
	Bandas (OLI) e (TIRS): Banda 1 (Costeira/Aerossol – 0,43–0,45 µm); Banda 2 (Azul – 0,45–0,51 µm); Banda 3 (Verde – 0,53–0,59 µm); Banda 4 (Vermelha – 0,64–0,67 µm); Banda 5 (Infravermelho Próximo – 0,85–0,88 µm); Banda 6 (Infravermelho Médio 1 – 1,57–1,65 µm); Banda 7 (Infravermelho Médio 2 – 2,11–2,29 µm); Banda 8 (Pancromática – 0,50–0,68 µm); Banda 9 (Cirros – 1,36–1,38 µm); Bandas 10 e 11 (Infravermelho Termal – 10,60–11,50 µm e 11,50–12,50 µm).										

Fonte: autores, 2025.

As imagens de satélites, com resolução espacial de 30 metros, foram processadas na plataforma *Google Earth Engine* e submetidas a técnicas de aprendizado de máquina, tendo como principal algoritmo o *Random Forest*. O *Google Earth Engine* oferece uma plataforma robusta para processamento e análise em larga escala de imagens de satélite e dados remotos de campo em nuvens. A plataforma possibilita a manipulação de grandes volumes de dados e aplicá-los a diversos campos, como a gestão ambiental, o planejamento urbano e o monitoramento de mudanças climáticas.

O método supervisionado é amplamente reconhecido pela sua robustez em classificar dados multiespectrais, pois combina múltiplas árvores de decisão para aprimorar a acurácia do mapeamento e minimizar erros de generalização. A aplicação do *Random Forest* permitiu discriminar com eficiência as classes temáticas de cobertura da Terra definidas neste estudo (Tabela 1), a partir dos valores espectrais das bandas dos sensores TM, OLI e TIRS. Além disso, o algoritmo foi treinado com 233 amostras de referência obtidas por inspeção visual, assegurando maior consistência na classificação final. A metodologia adotada garantiu não apenas a comparabilidade entre os anos analisados, mas também a geração de mapas temáticos, fundamentais para avaliar a dinâmica de ocupação da bacia e subsidiar ações de planejamento territorial e conservação ambiental.

Tabela 1 – Classes do Uso e Cobertura da Terra.

	Classes	Descrição
	Vegetação Arbórea	Áreas com cobertura florestal densa, composta por árvores altas, típicas da vegetação amazônica primária. São zonas de grande importância ecológica, com papel fundamental na regulação climática, no ciclo da água e na conservação da biodiversidade.
	Vegetação Arbustiva	Áreas com vegetação menos densa, composta por arbustos, capoeiras ou regeneração secundária. Pode ser resultado de degradação florestal ou etapa intermediária de sucessão ecológica após desmatamento.
	Solo Exposto	Superfícies sem vegetação, como áreas em processo de desmatamento, terrenos em construção, cortes de talude ou locais de intensa movimentação de solo. Essa classe é indicativa de impactos ambientais e potencial risco à estabilidade do solo e qualidade da água.
	Massa d'água	Representa rios, igarapés, lagos e outras superfícies hídricas presentes na bacia. A preservação dessa classe é essencial para a manutenção da qualidade hídrica, da fauna aquática e do equilíbrio hidrológico da região.
	Área Urbanizada	Refere-se a zonas ocupadas por infraestrutura construída: residências, indústrias, vias, edificações comerciais, etc. O aumento dessa classe é um dos principais vetores de pressão sobre os recursos naturais da bacia, e seu crescimento desordenado pode agravar processos de enchente e degradação ambiental.

Fonte: autores, 2025.

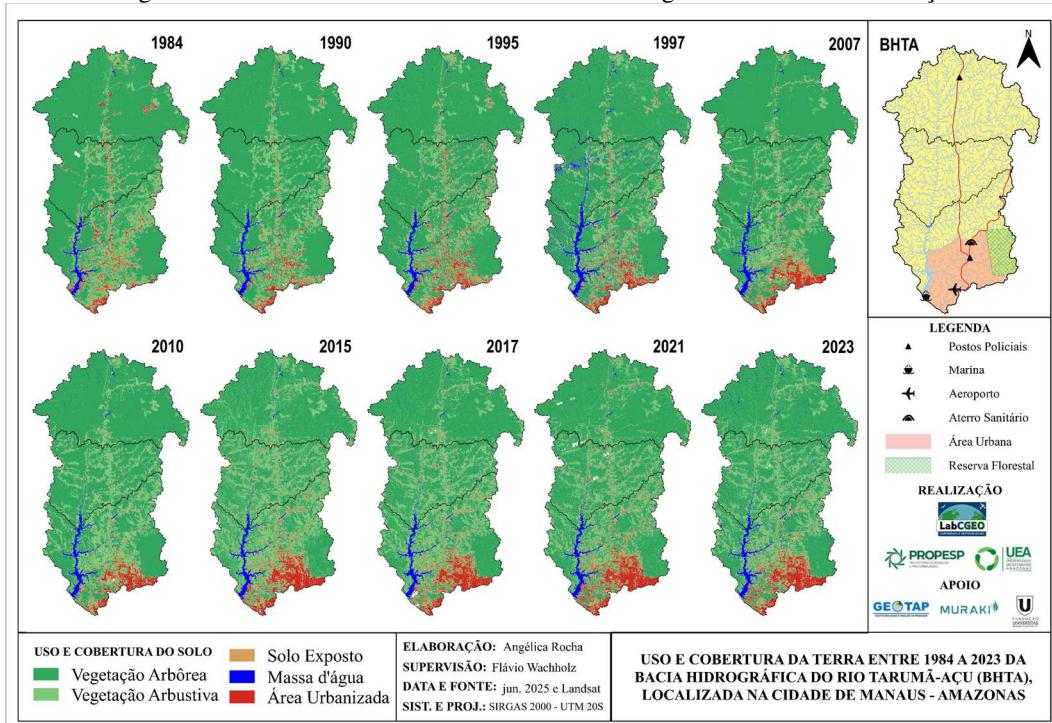
O *Random Forest* opera construindo centenas de árvores de decisão (em geral entre 100 a 500), utilizando subconjuntos aleatórios dos dados de entrada e das variáveis espectrais. Para este estudo, o número de árvores foi definido em $n = 500$, com critério e amostragem estratificada balanceada entre as classes. As variáveis de entrada para o treinamento do modelo incluíram, além das bandas espectrais originais dos sensores TM e OLI, diversos índices espectrais derivados que aumentaram o poder discriminativo da classificação: a) Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI (Rouse *et al.*, 1973); b) Índice de Diferença Normalizada da Água - NDWI (Mc Feeters, 1996); Índice de Diferença Normalizada da Água modificado - MNDWI (Xu, 2006); c) Enhanced Vegetation Index - EVI (Huete *et al.*, 2002). A matriz de confusão e os índices de acurácia global e índice Kappa foram calculados com base em pontos de validação independentes obtidos por inspeção visual em imagens de alta resolução e visitas de campo georreferenciadas. Os resultados apontaram uma acurácia superior a 85% para todos os anos mapeados, validando a robustez do modelo adotado e em seguida foram calculadas as áreas de cada classe por ano processadas.

Após o processamento das imagens no *Google Earth Engine*, os produtos raster, bem como os valores de área calculados para cada classe de uso e cobertura da terra, foram exportados para os ambientes do *QGIS* e do *Power BI*. No *QGIS* foram elaborados os layouts cartográficos dos mapas temáticos. Já no *Power BI*, que é uma ferramenta de *Business Intelligence* desenvolvida pela Microsoft, os dados foram integrados à construção de um painel interativo voltado à visualização dinâmica dos resultados. A plataforma permite a criação de painéis intuitivos com filtros temporais, gráficos interativos e cruzamentos de informações, ampliando a acessibilidade dos dados e facilitando a interpretação dos resultados por diferentes públicos, como pesquisadores, gestores públicos e representantes da sociedade civil.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A BHTA desempenha um papel estratégico na manutenção dos serviços ecossistêmicos da cidade, como a regulação hídrica, a conservação da biodiversidade e a amenização climática. Contudo, nas últimas décadas, esse território tem sofrido pressões decorrentes do acelerado processo de urbanização (Vasconcelos *et al.*, 2019). Com base na análise das séries temporais apresentadas na Figura 4, observa-se uma transição na paisagem natural da bacia. Embora a vegetação arbórea tenha predominado ao longo de toda a série histórica, ocupando a maior parte da bacia, a partir da década de 1990 verifica-se uma expansão progressiva da malha urbana, especialmente nas porções sudeste e central. Esse crescimento urbano tem sido acompanhado por um aumento das áreas de solo exposto e por uma redução gradativa da cobertura vegetal. Em 2023, constatou-se que áreas anteriormente cobertas por vegetação arbórea foram convertidas em zonas urbanizadas ou ambientes degradados, com destaque para a intensificação da ocupação nas proximidades das margens dos rios e nas adjacências de infraestruturas urbanas estratégicas, como marinas, aeroportos e rodovias.

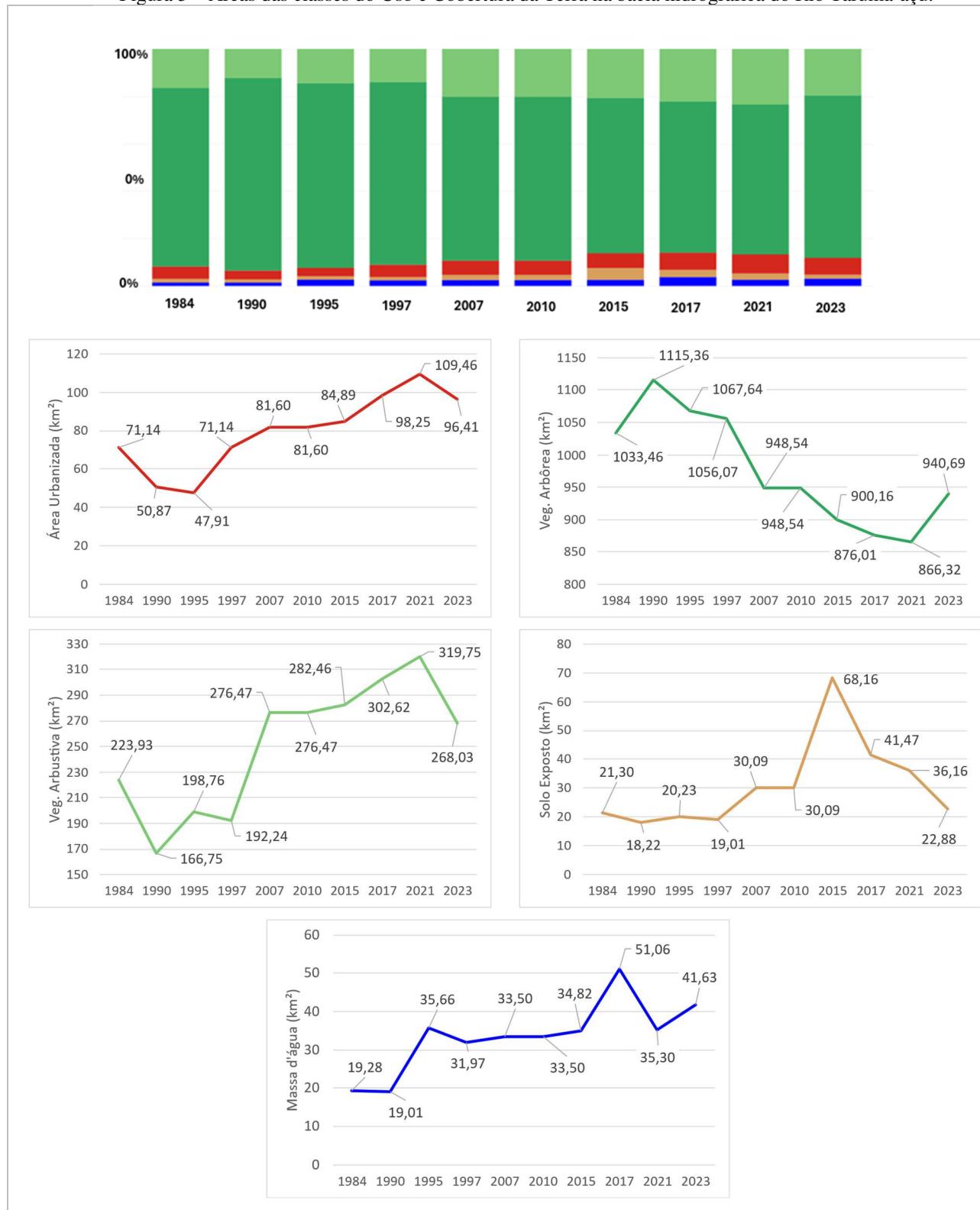
Figura 4 – Uso e Cobertura da Terra na bacia hidrográfica do Rio Tarumã-açu.



Fonte: autores, 2025.

Os gráficos apresentados na Figura 5 aprofundam a compreensão da dinâmica espacial já descrita anteriormente, ao quantificar a transformação dos diferentes tipos de cobertura da terra ao longo de quase quatro décadas na bacia hidrográfica do Rio Tarumã-açu.

Figura 5 – Áreas das classes do Uso e Cobertura da Terra na bacia hidrográfica do Rio Tarumã-açu.



Fonte: autores, 2025.

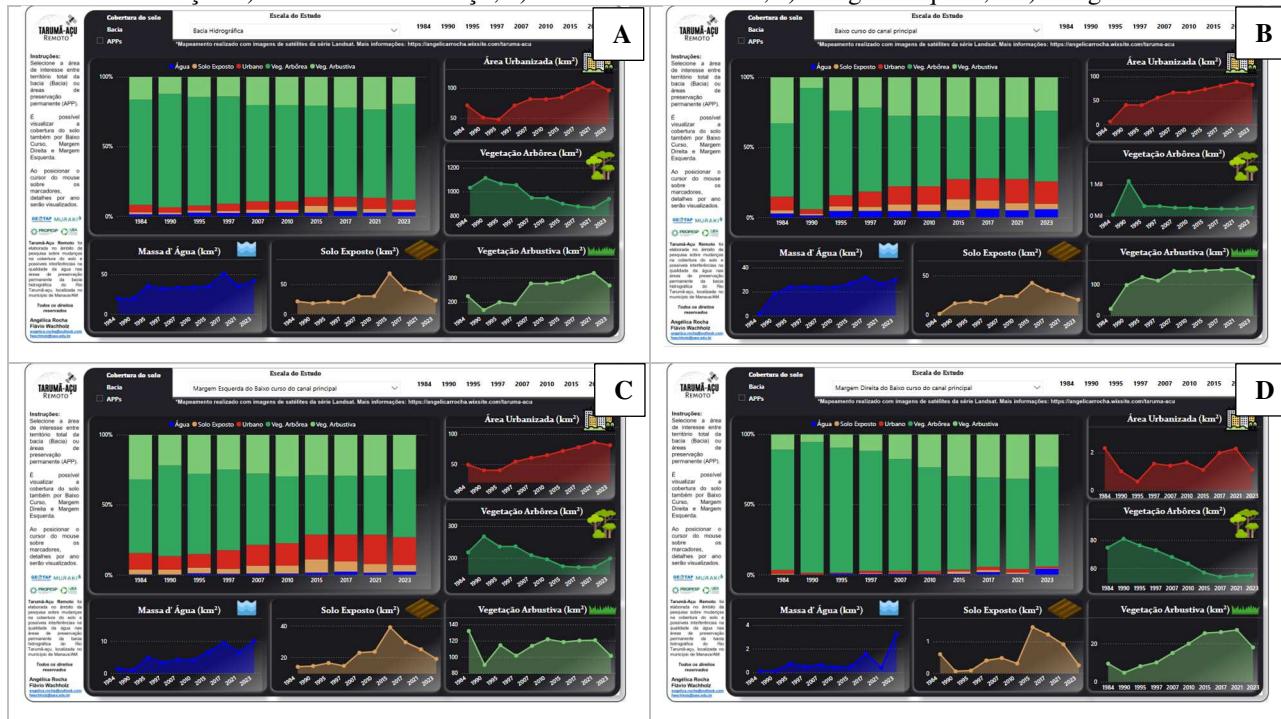
As séries temporais evidenciam mudanças expressivas, com destaque para duas tendências principais: o avanço da urbanização e a regressão das áreas com vegetação arbórea. A área urbanizada, por exemplo, apesar de ter tido um decaimento possivelmente devido a confusões na matriz de amostragem e características técnicas como ruídos da imagem de satélite entre 1984 e 1995, obteve aumento a partir de 1995, passando de 47,91 km² para mais de 96,41 km² em 2023, com crescimento mais acentuado a partir de 2007. Esse dado reforça o papel da BHTA como zona de expansão urbana e confirma a pressão exercida sobre os ambientes naturais, sobretudo nas bordas da cidade (Vasconcelos *et al.*, 2019). Por outro lado, a vegetação arbórea apresentou uma queda, passando de 1067,54 km² para cerca de 40,69 km² no mesmo intervalo. Essa substituição de cobertura arbórea por construções, solo exposto e/ou vegetação arbustiva pode comprometer o equilíbrio hídrico da bacia, a infiltração de água no solo e a estabilidade térmica local.

A área de solo exposto, associada frequentemente à retirada de cobertura vegetal e movimentações de terra, também teve picos ao longo da série (Em 2015, com 68,16 km² e em 2017, com 41,47 km²), sugerindo fases de intensa supressão florestal e construção civil. As massas d'água, por sua vez, apresentaram leve variação, que pode indicar mudanças dos períodos hidrológicos comuns na Amazônia, a qual as imagens foram registradas. A cobertura de vegetação arbustiva flutuou ao longo dos anos, com tendência geral de leve aumento, variando de 198,76km² (1995) para 268,03km² (2023), possivelmente como fase intermediária entre áreas degradadas e regeneração parcial. No entanto, não substitui os serviços ecossistêmicos proporcionados pela vegetação arbórea original. Essas tendências demonstram a importância de políticas públicas orientadas por dados científicos. Os gráficos funcionam como alertas visuais para os impactos cumulativos da expansão urbana não planejada sobre um sistema hidrográfico que já mostra sinais de estresse ambiental.

As transformações indicam uma dinâmica de uso da terra fortemente influenciada pela especulação imobiliária, ausência de planejamento territorial e insuficiência de políticas públicas efetivas de proteção ambiental (Melo, 2017). A redução da cobertura vegetal compromete a integridade ecológica da BHTA, podendo resultar na degradação da qualidade da água, maior ocorrência de eventos extremos, como enchentes e erosões, e perda de habitat para fauna local (Nobre *et al.*, 2016). Além disso, estudos sugerem contrastes marcantes entre o alto e o baixo curso da bacia em relação aos recursos hídricos. Enquanto o alto curso apresenta, em geral, melhor qualidade da água, devido à maior presença de vegetação nativa e menor grau de intervenção antrópica, o baixo curso sofre os maiores impactos decorrentes da expansão urbana, com maior carga de poluentes, assoreamento e descaracterização das margens (Costa *et al.*, 2021).

Portanto, torna-se urgente o fortalecimento de instrumentos de gestão ambiental e ordenamento territorial integrados, que conciliem o desenvolvimento urbano com a conservação ambiental, especialmente em áreas ambientalmente sensíveis como a BHTA. Nesse contexto, com o objetivo de ampliar a transparência e a disseminação dos dados e informações gerados neste estudo, foi desenvolvido um painel interativo (Figura 6) com maior nível de detalhamento, voltado ao acesso da comunidade acadêmica, sociedade civil e órgãos governamentais. Por meio dessa ferramenta, é possível consultar as áreas correspondentes à totalidade da bacia hidrográfica do Tarumã-Açu. Considerando que as interferências antrópicas se concentram predominantemente no baixo curso da bacia, o painel também disponibiliza informações específicas dessa subporção, incluindo as margens direita e esquerda, de forma a subsidiar diagnósticos territoriais e ambientais. Para acessar o painel interativo [acesse](https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMjZjMjllZWQtMmJlYS00Njk1LTg1ZmMtOWI3YjhMjYwOTE5IiwidCI6IjJhMGM1NjE4LTIwMDAtNGQ1Ni04ZWU1LWZIYWQwZDRmOTBhZSJ9&embedImagePlaceholder=true) o endereço eletrônico: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMjZjMjllZWQtMmJlYS00Njk1LTg1ZmMtOWI3YjhMjYwOTE5IiwidCI6IjJhMGM1NjE4LTIwMDAtNGQ1Ni04ZWU1LWZIYWQwZDRmOTBhZSJ9&embedImagePlaceholder=true>

Figura 6 – Painel interativo com as áreas das classes do Uso e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu. A) Bacia do Tarumã-açu; b) Baixo curso da Bacia; c) Margem esquerda; e d) Margem Direita.



Fonte: autores, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos, verifica-se que a bacia hidrográfica do Rio Tarumã-Açu está inserida em um processo contínuo de transformação da paisagem, caracterizado principalmente pelo crescimento da urbanização e pela acentuada redução das áreas de vegetação arbórea. Essas alterações podem comprometer a oferta de serviços ecossistêmicos essenciais à cidade de Manaus, como a regulação hídrica, o controle térmico e a conservação da biodiversidade, ao mesmo tempo em que evidenciam a fragilidade do planejamento urbano e ambiental vigente.

A análise multitemporal realizada neste estudo ressalta a importância de decisões orientadas por evidências técnicas e científicas, tendo em vista os impactos cumulativos da ocupação desordenada sobre um sistema hidrográfico cada vez mais suscetível à degradação. Os mapas e dados gerados representam instrumentos valiosos de diagnóstico territorial e subsidiam ações voltadas à preservação da integridade ambiental da região.

A construção do painel interativo amplia o alcance social dos resultados, promovendo o acesso público às informações e estimulando a participação de diversos atores da sociedade. Ao disponibilizar dados detalhados sobre toda a bacia, com ênfase nas áreas mais impactadas do baixo curso e de suas margens, o painel contribui para processos decisórios mais embasados e transparentes. Recomenda-se que o painel seja continuamente aperfeiçoado, com a inserção dos mapas e a atualização do mapeamento referente ao ano de 2024, de modo a enriquecer o banco de dados, especialmente diante das alterações ocasionadas pela seca histórica que afetou a bacia.

Portanto, conclui-se que a integração entre tecnologias geoespaciais, ciência aplicada e políticas públicas é fundamental para enfrentar os desafios impostos à Bacia do Tarumã-Açu. O fortalecimento da governança ambiental e do ordenamento territorial, aliado à difusão de conhecimento qualificado, são caminhos indispensáveis para garantir a resiliência socioambiental dessa área estratégica da Amazônia urbana.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à concessão da bolsa de pesquisa pela Política Estruturante 04 – Fortalecimento da pesquisa laboratorial acadêmica e tecnológica (Chamada Interna N° 003/2024 - FEPDI/UEA) a primeira autora. À gratificação de produtividade acadêmica da UEA ao segundo autor.

REFERÊNCIAS

Brasil. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria Nacional dos Recursos Hídricos. Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei N° 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Brasília, DF, 1997.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Mudança do Clima e Qualidade Ambiental. Política Nacional sobre Mudança do Clima – Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Brasília, DF, 2009.

COSTA, J. S.; SOUSA R.; L.; SILVA, A. G. C.; COSTA R., T.; MELO, M. D. G. G.; LIBERATO, M. A. R. (2021) *“Estado de conservação e qualidade da água em uma bacia hidrográfica periurbana na Amazônia Central”*. *Scientia Plena* 17 (9) pp. 1-19.

HUETE, A., DIDAN, K., MIURA, T., RODRIGUEZ, E. P., GAO, X.; FERREIRA, L. G. (2002) *“Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices”*. *Remote sensing of environment* 83 (1-2) pp. 195-213.

LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. (2018) *“Amazon tipping point”*. *Science advances* 4(2) pp. 2330-2340.

MCFEETERS, S.K.(1996). *“The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features”*. *International Journal of Remote Sensing* 17 (7) pp.1425-1432.

MELO, S. F. F. (2017). *“Gestão de Recursos Hídricos no Estado do Amazonas: o Caso da Bacia do Tarumã-Açu. 2017. Dissertação”* (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental). Pontifícia universidade católica do Rio de Janeiro. Rio de janeiro, pp.110.

NOBRE, C. A., SAMPAIO, G., BORMA, L. S., CASTILLA-RUBIO, J. C., SILVA, J. S., CARDOSO, M. (2016). *“Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. Proceedings of the National Academy of Sciences”* 113 (39) pp. 10759-10768.

ROCHA, A. R.; WACHHOLZ, F. (2024). *“Balanço Hídrico na região Amazônica em contexto de cheia e seca histórica: Estudo de Caso em uma bacia periurbana da cidade de Manaus, Bacia do Rio Tarumã-Açu – Amazonas”* in Anais do Simpósio Internacional Selper: Além do dossel – Tecnologias e Aplicações de Sensoriamento Remoto, Belém, Nov. 2024, 1, pp 1-10.

ROMANOU, A.; HEGERL, G.; SENEVIRATNE, S.; ABIS, B.; BASTOS, A.; CONVERSI, A. A.; LANDOLFI, H; KIM, P. E; LERNER, J; MEKUS, B. L; OTTO-BLIESNER, F. S. R; PAUSATA, I. PINTO; L. SUAREZ-GUITERREZ. (2024). *“Extreme Events Contributing to Tipping Elements and Tipping Points”*. *Surveys in Geophysics* 46(1) pp. 1-46.

VASCONCELOS, M. A.; OLIVEIRA, M. A. F.; JUNIOR, J. C. L.; SILVA, S. C. P. (2019). *“Análise do uso e da cobertura da terra da bacia do tarumã-açu: um olhar para a sustentabilidade”*. *Terceira Margem Amazônia* 5 (13), pp. 265-280.

XU, H. (2006). *“Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery”*. *International Journal of Remote Sensing* 27 (14), pp. 3025-3033.