ReGeo ISSN: 2177-3246

DINÂMICA DA SUPERFÍCIE DE ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPICURU (1985 – 2024)

WATER SURFACE DYNAMICS IN THE ITAPICURU RIVER BASIN (1985–2024)

DINÁMICA DE LA SUPERFICIE DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO ITAPICURU (1985 – 2024)

https://doi.org/10.56238/revgeov17n10-102

Data de submissão: 14/09/2026 **Data de publicação:** 14/10/2026

Alves Rute Armando Nhavoto
Mestrando em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: alvesnhavoto@gmail.com

Roberto Mendes
Doutorando em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: robertomendes991@gmail.com

Victor Zaqueu Nassuiro
Doutorando em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: vnassuiro@gmail.com

Rodrigo Nogueira de Vasconcelos
Doutor em Ecologia
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: rnv@uefs.br

Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha
Doutor em Geologia
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: wrocha@uefs.br

RESUMO

A dinâmica da superfície de água a variação espacial e temporal da extensão dos corpos hídricos é um indicador direto da disponibilidade de recursos hídricos e da resposta da paisagem à variabilidade climática e à pressão antrópica. No semiárido brasileiro, onde a distribuição das chuvas é irregular e os rios são predominantemente intermitentes, essa dinâmica condiciona o abastecimento humano, a agricultura e a manutenção dos ecossistemas. Os estudos disponíveis sobre a bacia hidrográfica do rio Itapicuru concentraram-se na disponibilidade hídrica para usos específicos, permanecendo pouco explorada a caracterização da mudança da área de superfície de água ao longo do tempo. Este estudo avalia a dinâmica anual da superfície de água da bacia do rio Itapicuru entre 1985 e 2024, quantificando sua extensão e identificando padrões de expansão, retração e estabilidade. Foram utilizados os mapas anuais da Coleção 5 do MapBiomas Água, derivados da série Landsat com resolução espacial de 30 m, processados no QGIS 3.44.11 Solothurn, com análise estatística em ambiente R por meio dos testes

de Shapiro-Wilk e Mann-Kendall e do estimador de inclinação de Sen. A extensão média foi de 7.202,12 ha, com desvio-padrão de 1.497,72 ha (coeficiente de variação de 20,8%), oscilando entre o mínimo de 4.733 ha, em 2015, e o máximo de 10.312 ha, em 2007 amplitude de 5.579 ha. A série completa não apresentou tendência monotônica significativa (p = 0,545), mas os subperíodos revelaram mudanças direcionais expressivas: expansão significativa entre 1985 e 2007 (+183,29 ha/ano; p < 0,001), retração acentuada entre 2008 e 2015 (−743,14 ha/ano; p = 0,002), correspondente a uma perda de 52,4% da superfície hídrica, e recuperação parcial entre 2016 e 2024 (+72,17 ha/ano), sem significância estatística (p = 0,602). A média decenal do último decênio (6.142,3 ha) é a menor de toda a série. O padrão de retração coincide com a seca plurianual que atingiu o Nordeste entre 2012 e 2017, indicando forte acoplamento entre a superfície hídrica da bacia e a variabilidade climática regional. O estudo fornece uma linha de base quantitativa de quatro décadas para o monitoramento e a gestão dos recursos hídricos superficiais da bacia.

Palavras-chave: Superfície de Água. Bacia do Rio Itapicuru. Semiárido. Mapbiomas Água. Mann-Kendall.

ABSTRACT
Surface water dynamics the spatial and temporal variation in the extent of water bodies is a direct indicator of water resource availability and of how a landscape responds to climate variability and anthropogenic pressure. In the Brazilian semiarid region, where rainfall is irregular and rivers are predominantly intermittent, these dynamics govern human water supply, agriculture and ecosystem maintenance. Available studies on the Itapicuru River basin have focused on water availability for specific uses, leaving the characterisation of water surface area change over time largely unexplored. This study assesses the annual surface water dynamics of the Itapicuru River basin between 1985 and 2024, quantifying its extent and identifying patterns of expansion, retraction and stability. Annual maps from MapBiomas Water Collection 5, derived from the Landsat series at 30 m spatial resolution, were processed in QGIS 3.44.11 Solothurn, with statistical analysis in R using the Shapiro-Wilk and Mann-Kendall tests and Sen's slope estimator. Mean extent was 7,202.12 ha, with a standard deviation of 1,497.72 ha (coefficient of variation of 20.8%), ranging from a minimum of 4,733 ha in 2015 to a maximum of 10,312 ha in 2007 an amplitude of 5,579 ha. The full series showed no significant monotonic trend (p = 0.545), but the subperiods revealed marked directional change: significant expansion between 1985 and 2007 (+183.29 ha/year; p < 0.001), sharp retraction between 2008 and 2015 (−743.14 ha/year; p = 0.002), amounting to a 52.4% loss of water surface, and partial recovery between 2016 and 2024 (+72.17 ha/year) without statistical significance (p = 0.602). The decadal mean for the last decade (6,142.3 ha) is the lowest in the series. The retraction pattern coincides with the multi-year drought that affected Northeast Brazil between 2012 and 2017, indicating strong coupling between the basin's water surface and regional climate variability. The study provides a four-decade quantitative baseline for monitoring and managing the basin's surface water resources.

Keywords: Surface Water. Itapicuru River Basin. Semiarid. MapBiomas Water. Mann-Kendall.

RESUMEN
La dinámica de la superficie del agua la variación espacial y temporal de la extensión de los cuerpos hídricos es un indicador directo de la disponibilidad de recursos hídricos y de la respuesta del paisaje a la variabilidad climática y a la presión antrópica. En el semiárido brasileño, donde la distribución de las lluvias es irregular y los ríos son predominantemente intermitentes, esa dinámica condiciona el abastecimiento humano, la agricultura y el mantenimiento de los ecosistemas. Los estudios disponibles sobre la cuenca del río Itapicuru se han concentrado en la disponibilidad hídrica para usos específicos, quedando poco explorada la caracterización del cambio del área de superficie del agua a lo largo del

tiempo. Este estudio evalúa la dinámica anual de la superficie del agua de la cuenca del río Itapicuru entre 1985 y 2024, cuantificando su extensión e identificando patrones de expansión, retracción y estabilidad. Se utilizaron los mapas anuales de la Colección 5 de MapBiomas Agua, derivados de la serie Landsat con resolución espacial de 30 m, procesados en QGIS 3.44.11 Solothurn, con análisis estadístico en R mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Mann-Kendall y el estimador de pendiente de Sen. La extensión media fue de 7.202,12 ha, con desviación estándar de 1.497,72 ha (coeficiente de variación del 20,8%), oscilando entre el mínimo de 4.733 ha, en 2015, y el máximo de 10.312 ha, en 2007 amplitud de 5.579 ha. La serie completa no presentó tendencia monotônica significativa ($p = 0,545$), pero los subperíodos revelaron cambios direccionales expresivos: expansión significativa entre 1985 y 2007 (+183,29 ha/año; $p < 0,001$), retracción acentuada entre 2008 y 2015 (−743,14 ha/año; $p = 0,002$), correspondiente a una pérdida del 52,4% de la superficie hídrica, y recuperación parcial entre 2016 y 2024 (+72,17 ha/año), sin significancia estadística ($p = 0,602$). La media decenal del último decenio (6.142,3 ha) es la menor de toda la serie. El patrón de retracción coincide con la sequía plurianual que afectó al Nordeste entre 2012 y 2017, lo que indica un fuerte acoplamiento entre la superficie hídrica de la cuenca y la variabilidad climática regional. El estudio aporta una línea de base cuantitativa de cuatro décadas para el monitoreo y la gestión de los recursos hídricos superficiales de la cuenca.

Palabras clave: Superficie del Agua. Cuenca del Río Itapicuru. Semiárido. MapBiomas Agua. Mann-Kendall.

1 INTRODUÇÃO

O território brasileiro tem apresentado variação da superfície de água ao longo da série histórica de 1985 a 2025. Em 1990, a superfície de água era de 19,86 milhões de hectares; em 2020 registrou-se o valor mais baixo da série, 17,28 milhões de hectares; e em 2025 houve recuperação parcial, para 18,2 milhões de hectares. A comparação entre a primeira e a última década do período indica redução de 2,6 milhões de hectares na média decenal (Projeto MapBiomas, 2026). O comportamento não é, portanto, de declínio contínuo, mas de perda líquida acumulada com oscilações interdecenais padrão que a análise em escala global também identifica em regiões submetidas simultaneamente a variabilidade climática e a intervenção humana (Donchyts et al., 2016; Pekel et al., 2016).

A região Nordeste caracteriza-se pela baixa disponibilidade de recursos hídricos naturais e por uma histórica recorrência de secas (Marengo; Torres; Alves, 2017). No semiárido, a distribuição das chuvas é extremamente irregular, tanto no tempo quanto no espaço geográfico, contribuindo para a ocorrência de elevados déficits hídricos (Alves; Rezende; Santos, 2017). A bacia hidrográfica do rio Itapicuru apresenta elevada vulnerabilidade aos desastres ambientais, principalmente em decorrência das mudanças climáticas que têm intensificado eventos de estiagem e seca (Novais; Novais, 2022).

Estudos conduzidos em outras regiões submetidas a estresse hídrico mostram que a variação da área de superfície da água ao longo de séries multidecenais resulta da combinação entre fatores climáticos e demanda por água, com implicações diretas sobre a atividade econômica e a agricultura. Em escala global, o mapeamento contínuo por sensoriamento remoto demonstrou que uma parcela expressiva das perdas permanentes de água superficial concentra-se em regiões semiáridas e está associada tanto à seca quanto à captação humana (Pekel et al., 2016), enquanto a variabilidade sazonal do armazenamento superficial é hoje dominada por corpos hídricos manejados pelo homem (Cooley; Ryan; Smith, 2021).

Estudar a dinâmica da superfície da água permite-nos compreender as transformações ocorridas ao longo do tempo, quantificar a disponibilidade e planejar uso racional da água. Nesse contexto, a análise da tendência possibilita-nos identificar padrões de aumento, redução ou estabilidade da superfície de água (Nielsen, 2021; Pekel et al., 2016). O acompanhamento sistemático da extensão dos corpos hídricos constitui, ainda, o indicador 6.6.1 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, referente à mudança na extensão dos ecossistemas relacionados à água, para o qual séries longas derivadas de sensoriamento remoto têm sido a principal fonte de evidência (Wang et al., 2022).

Apesar de existirem vários estudos sobre a bacia hidrográfica do rio Itapicuru, eles têm se concentrado na avaliação da disponibilidade de água para diversos usos, principalmente para abastecimento de água potável, irrigação, precipitação pluvial e regionalização de vazão. Porém, ainda

existe uma lacuna pouco explorada em termos de uma melhor compreensão das mudanças na área de superfície da água ao longo do tempo.

A escolha da Bacia Hidrográfica do Rio Itapicuru justifica-se pelas condições de disponibilidade hídrica características de regiões semiáridas. As elevadas temperaturas, superiores a 27°C, associadas à ocorrência de rios intermitentes, contribuem para uma forte variação na disponibilidade de água entre os períodos chuvosos e de estiagem. Essa variação torna-se ainda mais relevante devido à utilização dos recursos hídricos para a agricultura e para o consumo das comunidades. A natureza dinâmica das águas superficiais, impulsionada por flutuações sazonais e eventos climáticos, apresenta desafios para a determinação precisa do avanço e recuo das áreas de superfícies de água (Nagel; Darby; Leyland, 2025).

Diante disso, o presente estudo pretende responder a seguinte pergunta de investigação: que mudanças ocorreram na extensão da superfície de água na bacia hidrográfica do rio Itapicuru no período entre 1985 - 2024?

Este estudo foi concebido para avaliar a dinâmica anual da superfície de água da bacia hidrográfica do rio Itapicuru ao longo da série temporal de 1985 a 2024. Constitui, portanto, seu objetivo geral caracterizar a variação da extensão da superfície de água da bacia nesse período e identificar os padrões temporais que a organizam.

De modo específico, pretende-se: (i) quantificar a extensão anual da superfície de água da bacia entre 1985 e 2024, a partir dos mapas da Coleção 5 do MapBiomas Água; (ii) caracterizar estatisticamente a série obtida, estabelecendo média, dispersão, amplitude e comportamento decenal; (iii) testar a existência de tendência monotônica na série completa e em subperíodos definidos pelo próprio comportamento temporal da variável; e (iv) interpretar os padrões de expansão e retração identificados à luz da variabilidade climática regional e das pressões de uso documentadas para o semiárido baiano.

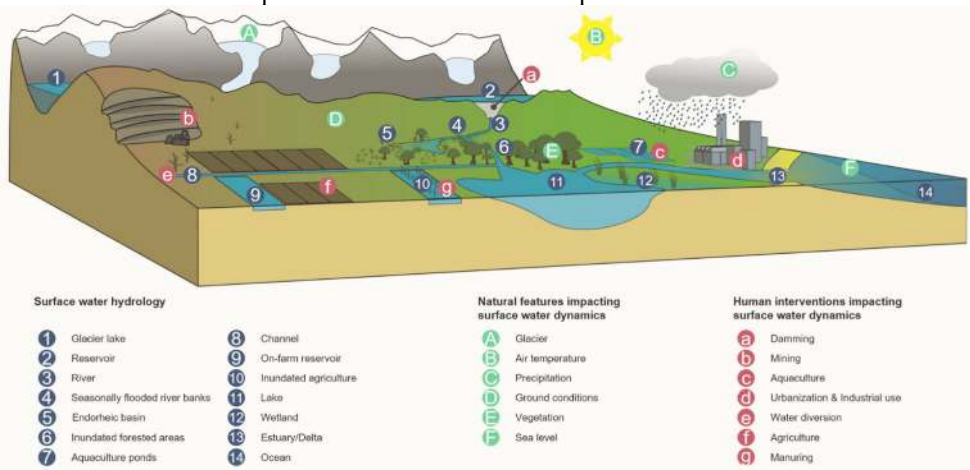
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DINÂMICA DA SUPERFÍCIE DE ÁGUA

A dinâmica da superfície da água corresponde às variações espaciais e temporais na ocorrência, extensão e distribuição das águas superficiais, podendo manifestar-se por mudanças sazonais, intra-anuais (as transformações podem ser observados no mesmo ano) e interanuais (são mudanças entre os anos) na área ocupada pelos corpos de água (Sogno; Klein; Kuenzer, 2022). As águas superficiais terrestres desempenham um papel fundamental no ciclo global da água e no clima (Papa et al., 2010). Os principais componentes naturais e antrópicos que governam essa dinâmica estão sintetizados na

Figura 1.

Figura 1. Modelo conceitual da hidrologia de águas superficiais, com as influências naturais e antropogênicas que afetam a dinâmica dos corpos hídricos.



Fonte: Sogno, Klein e Kuenzer (2022).

2.2 MUDANÇAS NA SUPERFÍCIE DE ÁGUA

O histórico hídrico de longo prazo constitui elemento fundamental para a produção de produtos temáticos destinados a documentar distintas facetas da dinâmica das águas superficiais. As superfícies aquáticas sazonais podem apresentar elevada variabilidade, alternando entre períodos úmidos e secos, além de modificarem sua localização geográfica (Pekel et al., 2016).

Alterações na precipitação média, tanto sazonal quanto anual, bem como nos índices de evaporação, influenciam diretamente os padrões de disponibilidade hídrica, com repercussões significativas sobre a sociedade e os ecossistemas (Konapala et al., 2020). Conjuntos de dados globais consistentes e validados demonstram que os impactos das mudanças e oscilações climáticas na ocorrência de águas superficiais podem ser mensurados, permitindo evidenciar como as atividades humanas modificam esses ambientes (Pekel et al., 2016). A análise da série Landsat em escala global mostrou, no mesmo sentido, que ganhos e perdas de água superficial coexistem no planeta e que a sua distribuição é fortemente regionalizada (Donchyts et al., 2016).

As maiores reduções na extensão das águas têm sido observadas em regiões que experimentaram intenso crescimento populacional nas últimas duas décadas. O aumento demográfico e a expansão das atividades econômicas impõem pressões substanciais sobre a hidrologia local, incluindo a drenagem de pântanos e áreas úmidas para fins construtivos, além da captação de água para a agricultura e para o consumo humano (Prigent et al., 2012). Em corpos hídricos manejados, a variabilidade sazonal do armazenamento é hoje substancialmente maior do que em corpos naturais, o que torna a operação de reservatórios um determinante de primeira ordem da dinâmica observada por

satélite (Cooley; Ryan; Smith, 2021) consideração pertinente a bacias semiáridas como a do Itapicuru, cuja paisagem hídrica é composta majoritariamente por açudes e pequenos reservatórios (Rodrigues, 2022).

Entretanto, as ações antrópicas, somadas às mudanças climáticas, ameaçam continuamente o equilíbrio ambiental. A diminuição das precipitações tem ocasionado perdas nos recursos hídricos superficiais e comprometido a manutenção da biodiversidade (Pereira Justino et al., 2026). Mudanças no uso da terra, incluindo a expansão da agricultura e das pastagens, alteraram os ciclos naturais de cheias e secas, ameaçando a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos essenciais. Padrões irregulares de chuva e secas prolongadas exacerbam ainda mais esses impactos, aumentando a vulnerabilidade ambiental (Pereira Justino et al., 2026).

Nesse contexto, o monitoramento das superfícies aquáticas e a identificação de suas mudanças espaciais ao longo do tempo fornecem subsídios valiosos para a tomada de decisão. O sensoriamento remoto destaca-se como ferramenta estratégica para o desenvolvimento de políticas e estratégias em escalas nacional, regional e local (Dervisoglu, 2022; Wang et al., 2022).

Os avanços recentes no sensoriamento remoto por satélite (e.g., Landsat) e na computação em nuvem (e.g., Google Earth Engine) oferecem soluções promissoras, viabilizando análises geoespaciais em larga escala e o aprimoramento de métodos de monitoramento da superfície aquática por meio de técnicas como índices espectrais e algoritmos de aprendizado de máquina (Getaneh et al., 2024).

A detecção da superfície da água é realizada utilizando um conjunto de índices espectrais (Faour; Amacha; Ghandour, 2026). Diversos estudos de mapeamento e monitoramento tem utilizado índices de água Normalized Difference Water Index (NDWI), Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI), Water Ratio Index (WRI) e Automated Water Extraction Index (AWEI). Esses índices destacam os corpos de água combinando bandas espectrais que detectam a presença de água (Pereira Justino et al., 2026). Estimativas da área superficial baseadas no NDWI evidenciam clara variabilidade sazonal e meteorológica (Kang; Park; Hyun, 2025).

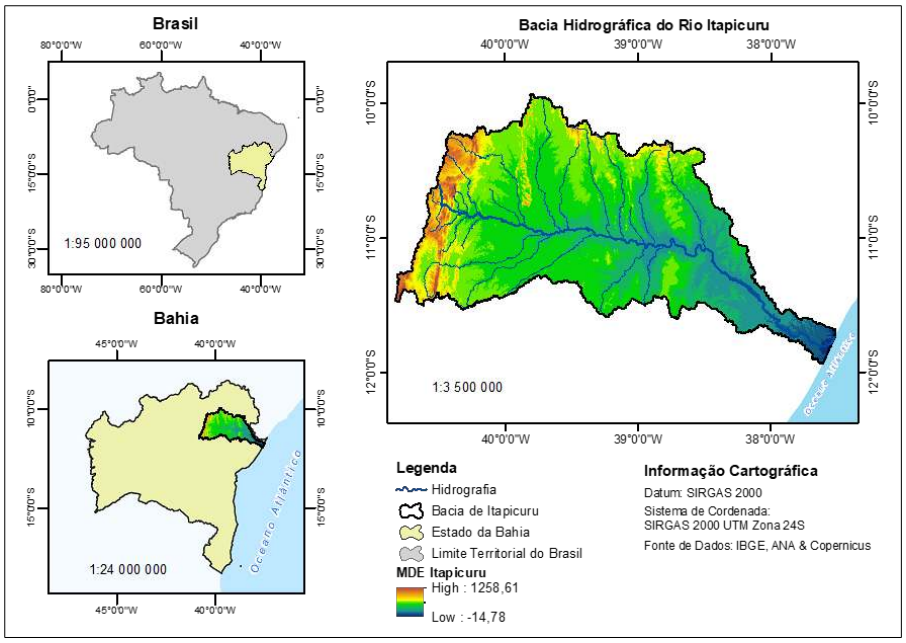
Novos métodos vêm sendo aplicados para superar desafios recorrentes, como a contaminação por nuvens, integrando modelos de classificação Random Forest com algoritmos refinados de aprimoramento, utilizando o conjunto de dados harmonizado Landsat e Sentinel-2 para estimativas temporais da superfície de água (Yadav et al., 2025).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Itapicuru localiza-se na região nordeste do estado da Bahia. Esta bacia, como mostra a Figura 2, apresenta uma forma alongada no sentido noroeste-nordeste do estado. O rio Itapicuru nasce na região da Chapada Diamantina, tem aproximadamente 350 km de extensão e 130 km de largura, estreitando-se gradualmente em direção à sua foz, situada nas proximidades do município do Conde (Batista; Rios; Batista, 2013). Esta bacia é delimitada, a norte, pelas bacias dos rios Real, Barris, Curaçá e Vaza-Barris; a oeste, pelas bacias dos rios São Francisco e Salitre; e a sul, pelas bacias dos rios Paraguaçu e Inhambupe e a leste pelo Oceano Atlântico (Batista; Rios; Batista, 2013). Dentre os afluentes da rede hidrográfica da bacia do rio Itapicuru destacam-se os rios Itapicuru-Açu, Itapicuru-Mirim, do Peixe, Cariacá e Jacurici (Inema, 2026).

Figura 2. Localização da bacia hidrográfica do rio Itapicuru, nordeste do estado da Bahia, com a rede de drenagem principal e os limites municipais.



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

O clima predominante é semiárido que abrange cerca de 81% da área, com precipitações médias anuais em torno de 700 mm. O relevo apresenta variações de declividade e é composta por florestas estacionais, campos rupestres e pastagens entremeadas por vegetação de caatinga. Os principais rios que atravessam a região são o Açu, Itapicuru-Mirim, Rio do Peixe e Jacurici(Alves; Rezende; Santos, 2017; Inema, 2026; Porciúncula, 2008).

A bacia hidrográfica do rio Itapicuru abrange 58 municípios, que, em conjunto, totalizam aproximadamente 1.536 950 habitantes, de acordo com Censo de 2022 do IBGE. A distribuição populacional entre os municípios é heterogênea, refletindo diferenças no processo de ocupação e desenvolvimento regional. O município de Jacobina apresenta a maior população, com 82.590 habitantes, evidenciando sua importância como um dos principais centros urbanos da região. Em contrapartida, o Município de Santa Luz possui a menor população, contabilizando 5.336 habitantes, caracterizando-se como um município de menor porte demográfico (IBGE, 2026).

A bacia hidrográfica do rio Itapicuru constitui uma importante unidade geomorfológica e hidrológica, desempenhando papel estratégico na disponibilidade e gestão dos recursos hídricos. Neste contexto, destaca-se que a bacia apresenta diversos cursos de água com potencial para a construção de barragens, favorecendo o armazenamento de água para abastecimento, irrigação e geração de energia hidrelétrica (Souza; Santos, 2024).

3.2 CONJUNTO DE DADOS ESPACIAIS

Neste estudo foram selecionados os seguintes conjuntos de dados: superfície de água, bacias hidrográficas, rios, limites territoriais e Modelo Digital de Elevação (MDE) da bacia do rio Itapicuru. As fontes, escalas, formatos, resoluções e sistemas de coordenadas de cada conjunto estão sintetizados na Tabela 1.

Os dados da Coleção 5 da superfície de água da bacia foram obtidos através da plataforma MapBiomas Água, disponível em https://plataforma.mapbiomas.org/. Este produto deriva da série Landsat, com resolução espacial de 30 m, e cobre o período de 1985 a 2024; a cadeia de classificação empregada pelo MapBiomas, baseada em algoritmos de aprendizado de máquina aplicados ao acervo Landsat em ambiente de computação em nuvem, está descrita em Souza Jr. et al. (2020). O acesso ao site do MapBiomas Água foi realizado durante o mês de Junho de 2026 para de adquirir dados anuais da superfície de água em formato raster, correspondente aos 40 anos.

Os dados de delimitação de bacias hidrográficas foram extraídos da plataforma da Agência Nacional de Águas (ANA), acessados através do Catálogo de Metadados da ANA, disponível no link (https://metadados.snirh.gov.br/). Os dados são disponibilizados em formato vetorial, e foram selecionadas as sub-bacias de Nível 4. Os dados de rios, também em formato vetorial, foram obtidos da Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas, criada em 2013.

Os limites territoriais dos estados e municípios brasileiros do ano 2025, disponíveis em formato vetorial, foram extraídos da plataforma do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) através do link (https://www.ibge.gov.br/). E, o Modelo Digital de Elevação (MDE) foi obtido

diretamente do software QGIS 3.44.11, por meio do plugin OpenTopography DEM Download, em formato raster, com resolução espacial de 30 metros.

Tabela 1. Dados espaciais

Tipo de Dado	Escala	Formato	Resolução Espacial	Sistema de Coordenada	Fonte
Limites Territoriais	1:250 000	vetorial	-	SIRGAS 2000	IBGE
MDE - SRTM	1:25 000	raster	30 metros	WGS84	Copernicus
Delimitação de Bacias	1:1 000 000	vetorial	-	SAD69 (EPSG:4291)	ANA (2006)
Rede Hidrográfica	1:1 000 000	vetorial	-	SAD69 (EPSG:4291)	ANA (2006)
Superfície de água natural	1:100 000	raster	30 metros	WGS84	Coleção 5 - MapBiomas Água (2026)

Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

3.3 ETAPAS DE PROCESSAMENTO DE DADOS ESPACIAIS

Para o processamento de dados da superfície de água da série temporal de 1985 a 2024 foi utilizado o programa QGIS versão 3.44.11 Solothurn. As imagens raster da superfície de água foram submetidas a correções geométricas e em seguida foi usada a ferramenta "recortar raster pela camada da máscara" para recortar as imagens selecionadas pela camada vetorial da bacia de Itapicuru. As áreas da superfície da água foram calculadas em hectares (ha) usando a ferramenta "r.report" do GRASS tomando em consideração o tamanho do pixel dos dados de origem.

Para a delimitação da área de estudo foram utilizados dados de limites territoriais, rios, MDE-SRTM e limite da bacia de Itapicuru. Foi realizada uma correção geométrica dos dados para que todos estivessem no sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 24S. Em seguida foi gerado o layout da bacia hidrográfica do rio Itapicuru.

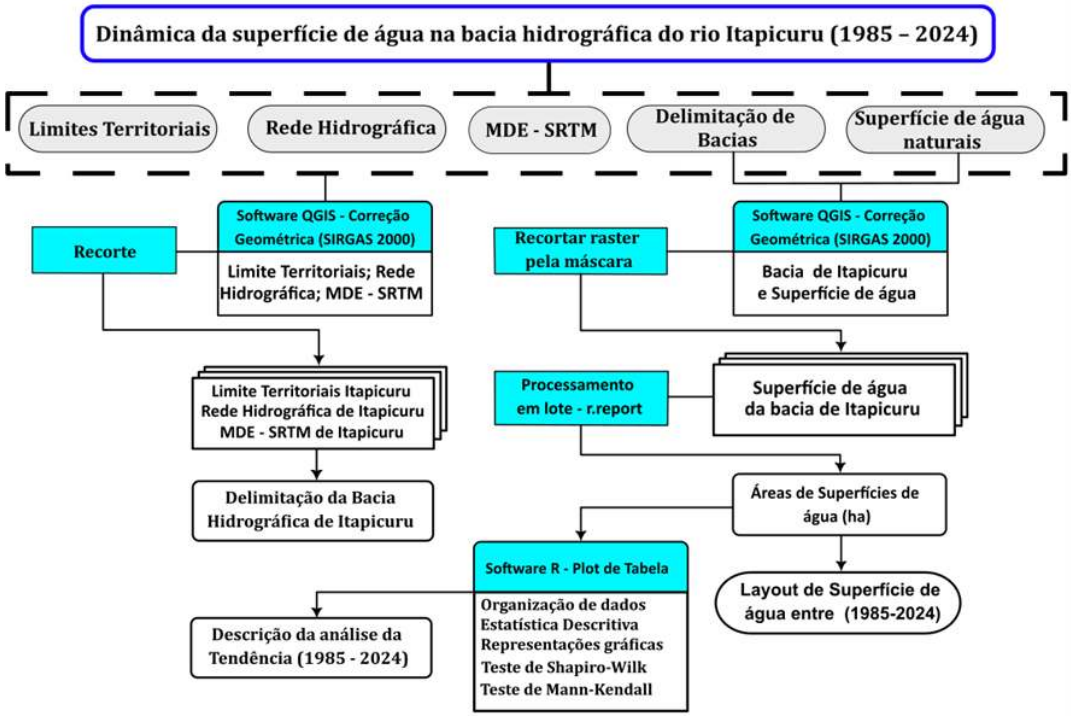
3.4 ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS E DETECÇÃO DE TENDÊNCIA

As análises estatísticas e das séries temporais foram feitas utilizando o software R. Para isso, foi desenvolvido um "script" que nos permitiu organizar em sequência os dados das áreas da superfície de água gerados pela ferramenta "r.report" do QGIS, e sobre estes dados retiramos valores de estatísticas descritivas, incluindo a média, o desvio padrão e a amplitude total. Em seguida, representamos graficamente os dados da série e a média móvel de cinco anos para mostrar os padrões temporais. O teste de Shapiro-Wilk (Shapiro; Wilk, 1965) foi usado para verificar a existência ou não de padrões de normalidade. Tendo se verificado a ausência de normalidade, aplicou-se o teste de Mann-Kendall (Mann, 1945), complementado pelo estimador de inclinação de Sen (Sen, 1968) e o seu intervalo de confiança a 95%, para avaliar a direção, magnitude e significância da tendência observada.

Posteriormente, fez-se a análise da tendência para a série completa e para os períodos 1985-2007, 2008-2015 e 2016-2024 definidos a partir do comportamento monotônico observável na representação gráfica dos dados e, por fim, descrevemos os resultados obtidos para caracterizar a dinâmica da superfície de água da bacia do rio Itapicuru.

O fluxograma metodológico, apresentado na Figura 3, sintetiza a sequência dos procedimentos adotados ao longo da pesquisa para o alcance dos objetivos estabelecidos.

Figura 3. Fluxograma das etapas metodológicas, da aquisição dos dados à análise de tendência.



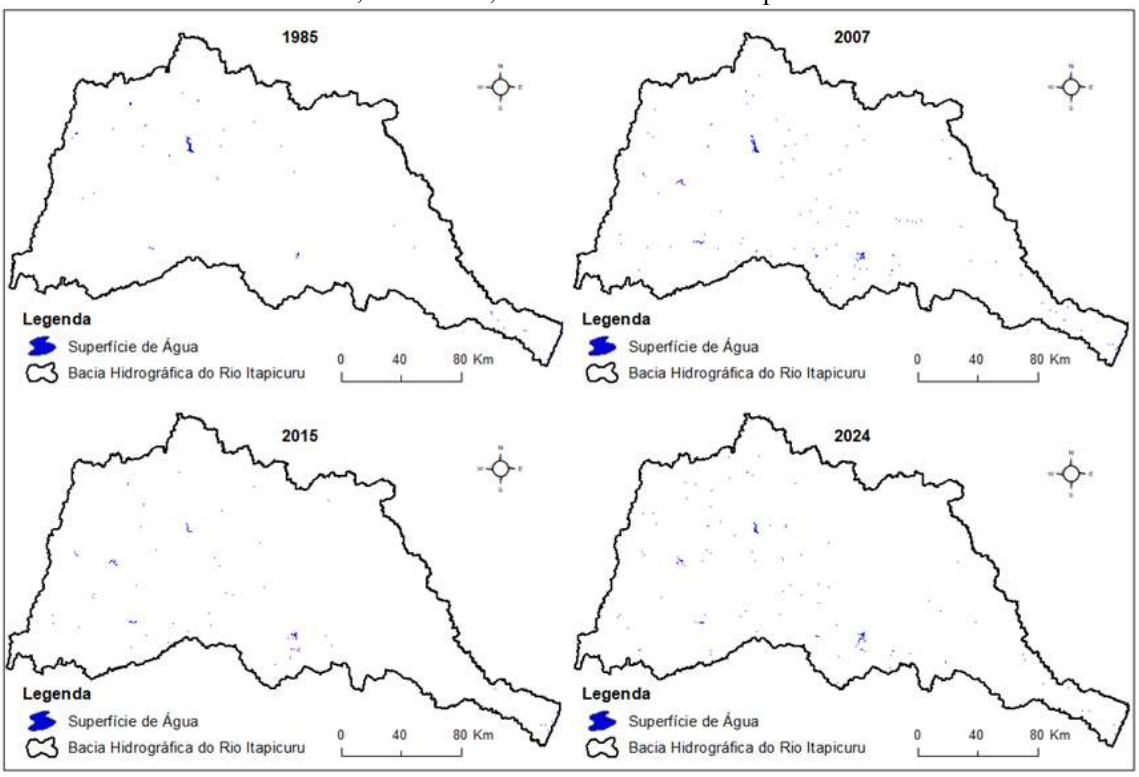
Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 VARIAÇÕES DA SUPERFÍCIE DE ÁGUA

Os resultados deste estudo abrangem o período de 1985 a 2024, constituindo uma série histórica de quatro décadas. Nesse intervalo, verifica-se relativa estabilidade nas principais áreas de água, acompanhada por processos de fragmentação e redução em setores menores, indícios de pressões antrópicas (agricultura, urbanização e mineração) e de variações climáticas, como secas prolongadas. A bacia apresenta regime hídrico predominantemente intermitente, caracterizado pela distribuição irregular das águas superficiais, condicionada pelo relevo e pela baixa capacidade de retenção hídrica. As manchas azuis evidenciam uma paisagem composta por pequenos reservatórios e cursos sazonais (açudes e lagoas). A distribuição espacial dessa configuração em quatro anos-chave da série é apresentada na Figura 4.

Figura 4. Superfície de água na bacia hidrográfica do rio Itapicuru nos anos de 1985, 2007, 2015 e 2024, correspondentes ao início da série, ao máximo, ao mínimo e ao final do período analisado.



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

O mapa evidencia a evolução da superfície hídrica na bacia do rio Itapicuru nos anos de 1985, 2007, 2015 e 2024, revelando uma dinâmica caracterizada por variações expressivas na distribuição e na extensão dos corpos de água.

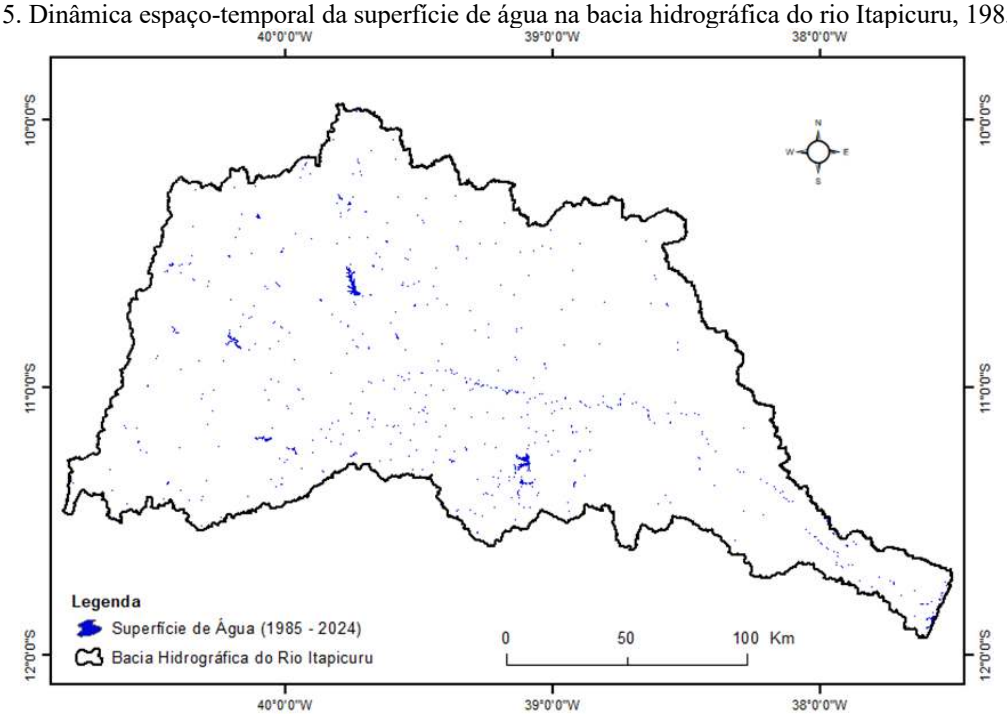
Em 1985, foram identificados 2.147 polígonos delimitados como corpos hídricos, dos quais 424 apresentam áreas iguais ou superiores a 0,5 hectares. A maior superfície hídrica registrada correspondeu a 1.809,8 hectares, localizada no rio Juazeiro, situado na porção norte da bacia hidrográfica do Itapicuru. Em seguida, destacou-se o rio Poço Grande, com 480,18 hectares, localizado na região central da bacia.

No ano de 2007, foram identificados 7.876 polígonos, sendo 1.337 com áreas iguais ou superiores a 0,5 hectares. A maior superfície hídrica registrada foi de 1.765,6 hectares, localizada no rio Juazeiro. Em segundo lugar, o rio Poço Grande apresentou 1.084,06 hectares, seguido pelo rio Itapicuru-açu e pelo Riacho do Aipim, com 632,05 hectares.

Em 2015, foram identificados 4.580 polígonos, dos quais 538 apresentam áreas iguais ou superiores a 0,5 hectares. A maior superfície hídrica registrada foi de 578,9 hectares, localizada no rio Itapicuru-açu e no Riacho do Aipim. Em seguida, o rio Poço Grande apresentou 555,79 hectares, e o rio Juazeiro, 526,02 hectares.

Por fim, em 2024, foram identificados 7.636 polígonos, sendo 827 com áreas iguais ou superiores a 0,5 hectares. A maior superfície hídrica registrada correspondeu a 1.081,05 hectares, localizada no rio Poço Grande. Em segundo lugar, o rio Juazeiro apresentou 857,73 hectares, seguido pelo rio Itapicuru-açu e pelo Riacho do Aipim, com 644,5 hectares.

Figura 5. Dinâmica espaço-temporal da superfície de água na bacia hidrográfica do rio Itapicuru, 1985-2024.



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

A síntese espaço-temporal das quatro décadas é apresentada na Figura 5. Os resultados evidenciam uma dinâmica complexa na evolução da superfície hídrica da bacia do rio Itapicuru ao longo das últimas quatro décadas. Observou-se um aumento expressivo no número de polígonos delimitados entre 1985 e 2007, seguido por uma redução em 2015 e nova elevação em 2024, sugerindo oscilações significativas na disponibilidade e fragmentação dos corpos de água. A alternância entre os rios Juazeiro, Poço Grande e Itapicuru-açu/Riacho do Aipim como detentores das maiores extensões hídricas indica uma redistribuição espacial da água, possivelmente associada a fatores climáticos e antrópicos. A redução acentuada das áreas máximas em 2015, contrastando com os valores mais elevados de 2007 e 2024, reforça a hipótese de variações sazonais ou de eventos extremos. Em síntese, os dados revelam um padrão de instabilidade hídrica que merece atenção, tanto para a gestão ambiental quanto para o planejamento dos recursos hídricos regionais.

4.2 DETERMINAÇÃO DE SUPERFÍCIE DE ÁGUA NA BACIA DE ITAPICURU

Para responder ao objetivo específico de quantificar a extensão anual da superfície de água, os dados foram organizados na Tabela 2. A série apresenta média anual de 7.202,12 ha e coeficiente de variação de aproximadamente 20,8% calculado com o desvio-padrão populacional de 1.497,72 ha , indicando variabilidade interanual moderada.

Tabela 2 - Série histórica da extensão da superfície de água (ha), bacia do rio Itapicuru, 1985-2024

Ano	**Área (ha)**	**Ano**	**Área (ha)**	**Ano**	**Área (ha)**	**Ano**	**Área (ha)**
1985	5.109	1995	7.060	2005	10.070	2015	4.733
1986	5.865	1996	6.652	2006	9.991	2016	6.553
1987	6.139	1997	8.424	2007	10.312	2017	5.706
1988	6.881	1998	7.166	2008	9.950	2018	5.667
1989	5.737	1999	7.109	2009	8.639	2019	6.777
1990	7.191	2000	7.395	2010	7.818	2020	6.308
1991	7.407	2001	7.466	2011	7.157	2021	5.375
1992	8.249	2002	9.262	2012	5.503	2022	7.120
1993	7.400	2003	8.333	2013	5.331	2023	6.124
1994	7.422	2004	10.269	2014	5.355	2024	7.060

Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

A extensão mínima da superfície de água foi registrada em 2015, com 4.733 ha, enquanto a máxima ocorreu em 2007, com 10.312 ha, resultando numa amplitude de 5.579 ha entre os valores extremos. A Tabela 3, apresenta a síntese das estatísticas descritivas dos dados da série temporal; o declive nela indicado foi obtido por regressão linear de mínimos quadrados e difere, por isso, da inclinação de Sen apresentada na Tabela 4, estimador não paramétrico.

Tabela 3 - Estatísticas descritivas da série histórica de extensão da superfície de água da bacia do rio Itapicuru, 1985-2024.

Indicador	Nº de anos	Área média anual	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude	Declive
Valor	40	7.202 ha	1.498 ha	4.733 ha	10.312 ha	5.579 ha	≈ −15,3 ha/ano (R^2 = 0,014)

Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

A distribuição temporal dos valores evidencia períodos com comportamentos diferenciados. Entre 2002 e 2008, observaram-se valores elevados de superfície de água, todos superiores a 8.300 ha, culminando no máximo da série em 2007. Em contraste, entre 2012 e 2015 registrou-se uma redução

acentuada, com quatro dos seis menores valores de toda a série concentrados nesse intervalo: 5.503 ha em 2012, 5.331 ha em 2013, 5.355 ha em 2014 e 4.733 ha em 2015.

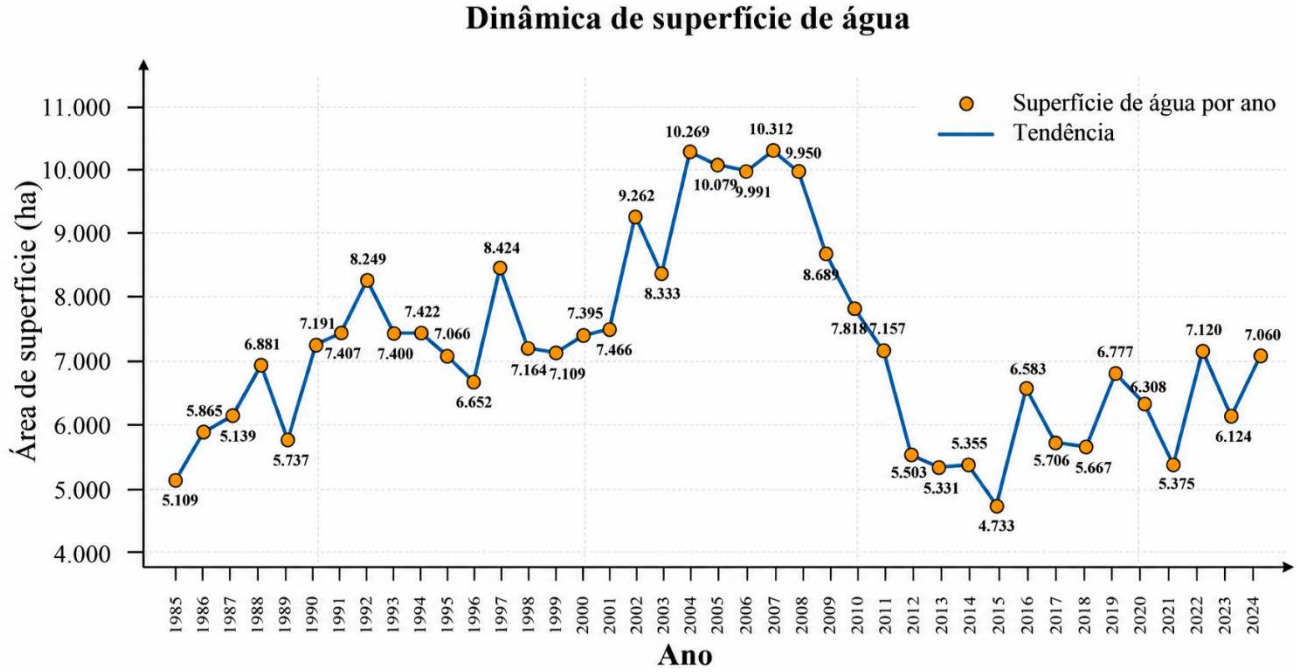
A comparação entre os períodos decenais reforça a existência de uma dinâmica não linear. A área média passou de 6.740 ha, entre 1985 e 1994, para 7.913,6 ha, entre 1995 e 2004, e atingiu 8.012,6 ha, entre 2005 e 2014. Posteriormente, observou-se uma redução expressiva, com média de 6.142,3 ha entre 2015 e 2024, a menor média decenal de toda a série. Este comportamento evidencia a alternância entre períodos de maior e menor extensão da superfície de água, não sendo suficiente, contudo, para caracterizar uma tendência monotônica de longo prazo.

Assim, no período de 1985 a 2024, a extensão da superfície de água da bacia do rio Itapicuru oscilou entre 4.733 e 10.312 ha, evidenciando amplitude de variação de 5.579 ha. Esta caracterização estabelece a base quantitativa para a análise subsequente da evolução temporal e das tendências de expansão e retração da superfície de água.

4.2.1 Evolução temporal e médias móveis da superfície de água

A evolução anual da superfície de água evidencia um comportamento não monotônico, marcado pela alternância entre fases de expansão e retração (Figura 6).

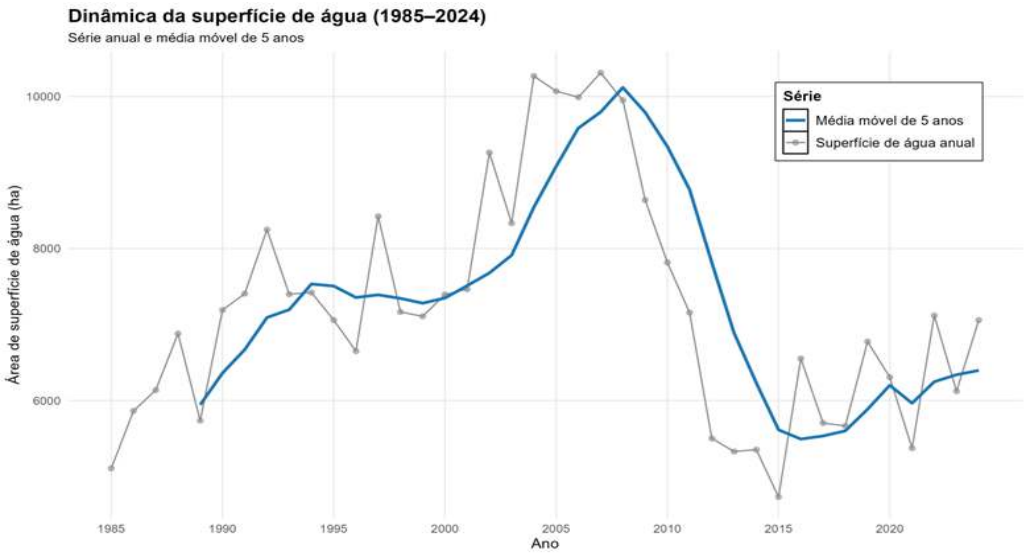
Figura 6. Série anual da extensão da superfície de água (ha) da bacia do rio Itapicuru, 1985-2024.



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

Para complementar a leitura da série anual, foi utilizada uma média móvel de cinco anos, apresentada na Figura 7.

Figura 7. Série anual da extensão da superfície de água (ha) e média móvel de cinco anos, bacia do rio Itapicuru, 1985-2024.



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

A média móvel constitui uma técnica de suavização de séries temporais que permite reduzir a influência de oscilações anuais de curta duração e realçar o comportamento predominante da variável ao longo de intervalos sucessivos. Neste estudo, a média móvel de cinco anos foi calculada considerando, para cada ano, a média aritmética das cinco observações consecutivas correspondentes ao próprio ano e aos quatro anos anteriores. Consequentemente, os primeiros quatro anos da série não apresentam valores de média móvel, uma vez que não existe um número suficiente de observações anteriores para completar a janela de cinco anos.

A utilização da média móvel não substitui os valores observados nem constitui, por si só, um teste estatístico de tendência. O seu propósito é essencialmente descritivo e exploratório, permitindo distinguir oscilações interanuais de movimentos mais persistentes da série. Dessa forma, enquanto a série anual evidencia a magnitude das alterações ocorridas de um ano para o outro, a média móvel permite visualizar com maior clareza períodos relativamente prolongados de expansão ou retração da superfície de água.

Na Figura 7, a suavização da série permite reconhecer três fases gerais da dinâmica temporal: uma fase de expansão que se estende de 1985 até aproximadamente 2007; uma fase de retração que culmina em 2015; e uma fase posterior de recuperação parcial entre 2016 e 2024. A média móvel

evidencia, portanto, que as oscilações observadas na série anual não se distribuem aleatoriamente ao longo do período, mas se organizam em intervalos temporais com comportamentos distintos.

4.3 ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS TEMPORAIS

A análise estatística da tendência foi realizada inicialmente para a série completa de 1985–2024 e, posteriormente, para três subperíodos identificados a partir do comportamento temporal observado no gráfico: 1985–2007, 2008–2015 e 2016–2024.

O teste de Shapiro–Wilk indicou que a série não apresenta distribuição normal ($p = 0,03$). Em razão das características da série e da necessidade de avaliar tendências monotônicas sem pressupor normalidade, foi aplicado o teste de Mann–Kendall, complementado pelo estimador não paramétrico da inclinação de Sen. Para a série completa de 1985–2024, o teste de Mann–Kendall não identificou tendência monotônica estatisticamente significativa ($p = 0,545$). A inclinação de Sen foi de −10,65 ha por ano, com intervalo de confiança de 95% entre −47,5 e 35 ha por ano, classificando o período como sem tendência significativa.

A ausência de significância estatística para a série completa não significa que a superfície de água tenha permanecido estável ao longo de todo o período. Pelo contrário, como veremos a seguir, a análise dos subperíodos revela mudanças direcionais importantes que são parcialmente compensadas quando as quatro décadas são consideradas conjuntamente.

Entre 1985 e 2007, verificou-se uma tendência crescente estatisticamente significativa ($p < 0,001$), com inclinação de Sen de +183,29 ha por ano. Nesse intervalo, a extensão da superfície de água passou de 5.109 ha, em 1985, para 10.312 ha, em 2007, caracterizando uma fase prolongada de expansão.

No período de 2008 a 2015, verificou-se uma tendência decrescente estatisticamente significativa ($p = 0,002$), com inclinação de Sen de −743,14 ha por ano. A superfície de água diminuiu de 9.950 ha, em 2008, para 4.733 ha, em 2015, correspondendo a uma redução de aproximadamente 52% relativamente ao valor registrado no início do período.

Entre 2016 e 2024, observou-se novamente uma inclinação positiva, estimada em +72,17 ha por ano. Contudo, o teste de Mann–Kendall não identificou uma tendência estatisticamente significativa nesse intervalo ($p = 0,602$), indicando que a recuperação observada após 2015 não apresenta evidência estatística suficiente para ser interpretada como uma tendência monotônica consolidada. A Tabela 4 apresenta a totalidade dos resultados obtidos dos testes de Mann-Kendall, inclinação de Sen, o intervalo de confiança e a síntese da tendência da série ou sub-série.

Tabela 4 - Resultados do teste de Mann-Kendall, da inclinação de Sen e dos respectivos intervalos de confiança de 95% para a série completa e para os três subperíodos, bacia do rio Itapicuru.

Período	n	τ de Kendall	S	Z	p	Inclinação de Sen (ha por ano)	IC 95% Sen	Tendência
1985–2024	40	−0,068	−53	-0,6059	0,545	−10,65	[-47,5; 35]	Sem tendência significativa
1985–2007	23	0,6601	167	4,3841	<0,001	+183,29	[130,71; 236,50]	Aumento significativo
2008–2015	8	−0,9286	−26	-3,0929	0,002	−743,14	[-1045,33; -600,67]	Redução significativa
2016–2024	9	0,1667	6	0,5213	0,602	+72,17	[-97,33; 320,50]	Sem tendência significativa

Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

A dinâmica de superfície de água na bacia do rio Itapicuru revela uma expressiva variabilidade interanual. A alternância entre períodos de expansão e de grave retração correlaciona-se diretamente com as condições climáticas extremas que assolaram o Nordeste brasileiro. Estudos realizados na região do semiárido Nordestino indicam que esta região enfrentou, entre os anos de 2012 e 2017, uma das secas mais severas e prolongadas da sua história recente, impulsionada por anomalias de precipitação negativas persistentes durante a estação chuvosa (Marengo; Torres; Alves, 2017; Medeiros et al., 2021). Esta seca plurianual provocou uma redução drástica de aproximadamente 52% na bacia do rio Itapicuru entre 2008 e 2015, diminuindo a área para menores registros históricos que ocorreram entre 2012 e 2015.

As alterações na superfície de água são resultado de uma interação complexa entre ciclos naturais e ações antrópicas (Ferreira et al., 2023; Sogno; Klein; Kuenzer, 2022). No Itapicuru, as temperaturas elevadas e a presença de rios intermitentes favorecem uma forte evapotranspiração, tornando os recursos hídricos extremamente sensíveis à escassez de chuva (Marengo; Torres; Alves, 2017). O aumento da demanda por água associado ao crescimento populacional impõe uma severa superexploração das águas superficiais (Sogno; Klein; Kuenzer, 2022). As projeções climáticas para o nordeste sugerem que o aquecimento continuará a aumentar, entre 1,3ºC e 4,4ºC, dependendo dos cenários de emissões, acompanhado pelo aumento de dias secos consecutivos. Esses cenários deverão acelerar a evapotranspiração dos reservatórios, intensificar secas sazonais e agravar o risco de desertificação e aridização na bacia (Marengo; Torres; Alves, 2017).

A análise demonstra que a perda e a instabilidade da superfície de água na bacia do rio Itapicuru não são fenômenos isolados, mas refletem a grave seca hidrometeorológica que afetou o semiárido (Medeiros et al., 2021) e as tendências regionais de retração no Bioma Caatinga (Ferreira et al., 2023). Estes padrões de instabilidade evidenciam a importância crucial de monitorar continuamente as

condições hidrometeorológicas e de desenvolver estratégias de gestão hídrica proativas e infraestruturas resilientes para mitigar os efeitos de alterações climáticas e garantir a segurança das comunidades locais (Marengo; Torres; Alves, 2017).

A comparação com a literatura ajuda a delimitar o alcance do resultado. A assimetria observada expansão lenta e prolongada entre 1985 e 2007, contra retração sete vezes mais rápida entre 2008 e 2015, medida pelas inclinações de Sen de +183,29 e −743,14 ha por ano é característica de sistemas hídricos dominados por corpos rasos e de pequeno porte, nos quais o ganho depende do enchimento gradual e a perda responde de imediato ao déficit de precipitação somado à evaporação. Esse comportamento converge com o padrão descrito para planícies extensas sob variabilidade climática acentuada, em que a resposta da superfície de água é mais rápida na contração do que na recuperação (Gómez; Rodríguez; Thalmeier, 2026).

Um segundo aspecto merece registro. A paisagem hídrica da bacia é composta majoritariamente por açudes e pequenos reservatórios, e não por grandes corpos naturais. Como a variabilidade sazonal do armazenamento superficial em escala global é hoje dominada por corpos hídricos manejados (Cooley; Ryan; Smith, 2021), parte da oscilação aqui medida reflete decisões de operação, captação e construção de barramentos, e não apenas o forçamento climático. Distinguir essas duas contribuições exigiria dados de operação e de outorga que não foram incorporados a esta análise ponto retomado nas limitações.

Cinco limitações delimitam a interpretação dos resultados. Primeiro, a análise baseia-se exclusivamente na extensão anual da superfície de água, sem incorporar variáveis explicativas precipitação, temperatura, evapotranspiração, vazão e mudanças de uso e cobertura da terra , de modo que as associações discutidas na seção 4.3 são interpretativas e não estabelecem causalidade.

Segundo, a resolução espacial de 30 m dos produtos derivados da série Landsat impõe um limite inferior de detecção: corpos hídricos estreitos ou de área inferior a alguns pixels são sistematicamente subrepresentados, o que afeta especialmente uma bacia em que predominam açudes de pequeno porte. A contagem de polígonos reportada na seção 4.1 é, por essa razão, sensível ao limiar adotado, e os valores com área igual ou superior a 0,5 ha foram destacados justamente para mitigar esse efeito.

Terceiro, não foi realizada avaliação de acurácia própria nem estimativa de incerteza das áreas: assumiu-se a acurácia reportada pelo MapBiomas para a Coleção 5. Consequentemente, as variações interanuais de pequena magnitude devem ser lidas com cautela, pois podem situar-se dentro da margem de erro da classificação.

Quarto, a composição anual dos mapas não distingue a sazonalidade intra-anual. Uma bacia com rios intermitentes apresenta contrastes expressivos entre período chuvoso e estiagem que a agregação anual necessariamente suaviza.

Quinto, os subperíodos analisados foram definidos a partir da inspeção do comportamento gráfico da própria série, e não por um critério independente de detecção de pontos de mudança. Esse procedimento é adequado a uma caracterização exploratória, mas tende a favorecer a significância dos segmentos identificados; a aplicação de testes formais de quebra estrutural, como o de Pettitt (1979), permitiria confirmar as datas de transição de modo independente.

A contribuição deste estudo é de três ordens. No plano empírico, produz a primeira série anual contínua de quarenta anos da extensão da superfície de água da bacia do rio Itapicuru, com estatísticas descritivas e testes de tendência para o conjunto e para os subperíodos informação que a literatura sobre a bacia, concentrada em disponibilidade hídrica para usos específicos, não oferecia. No plano metodológico, demonstra que a combinação entre um produto público de mapeamento hídrico e testes não paramétricos de tendência é suficiente para discriminar fases direcionais que a análise da série completa oculta: a ausência de tendência em quarenta anos convive com uma perda de 52,4% em oito. No plano da gestão, delimita com precisão o intervalo crítico 2008 a 2015 e o patamar atual da bacia, cuja média decenal é a menor de toda a série, oferecendo uma linha de base quantitativa para o comitê de bacia e para os órgãos gestores.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou a dinâmica da superfície de água na bacia hidrográfica do rio Itapicuru no período de 1985 a 2024, com o propósito de quantificar sua extensão anual e identificar padrões de expansão, retração e estabilidade ao longo da série histórica de 40 anos. Os resultados demonstraram elevada variabilidade interanual da superfície hídrica, cuja extensão média foi de 7.202 ha, variando entre 4.733 ha, em 2015, e 10.312 ha, em 2007, com amplitude de 5.579 ha. A análise temporal evidenciou três fases principais: uma fase de expansão entre 1985 e 2007, estatisticamente significativa (+183,29 ha/ano; $p < 0,001$); uma fase de retração entre 2008 e 2015, também significativa (−743,14 ha/ano; $p = 0,002$) e responsável pela perda de 52,4% da superfície hídrica; e uma fase de recuperação parcial entre 2016 e 2024, sem significância estatística ($p = 0,602$). Para a série completa não se identificou tendência monotônica ($p = 0,545$), resultado que não indica estabilidade, mas compensação entre fases direcionais opostas.

A análise estatística demonstrou que, considerando toda a série de 1985–2024, não houve tendência monotônica estatisticamente significativa da superfície de água (Mann–Kendall, $p = 0,545$).

Entretanto, a análise dos subperíodos revelou mudanças direcionais importantes. Entre 1985 e 2007 ocorreu aumento significativo da superfície hídrica, com inclinação de Sen de +183,29 ha/ano ($p < 0,001$), enquanto entre 2008 e 2015 foi identificada uma redução significativa, com inclinação de −743,14 ha/ano ($p = 0,002$). Entre 2016 e 2024, observou-se recuperação da superfície de água, porém sem tendência estatisticamente significativa ($p = 0,602$). Dessa forma, os resultados indicam que a dinâmica hídrica da bacia é caracterizada principalmente pela alternância entre períodos de expansão e retração, e não por uma tendência linear contínua de redução ou aumento.

A principal contribuição do estudo está na caracterização da variabilidade da superfície de água ao longo de quatro décadas, proporcionando uma referência histórica para compreender as transformações dos recursos hídricos superficiais em uma bacia inserida predominantemente no semiárido. Do ponto de vista prático, os resultados podem apoiar o monitoramento ambiental, o planejamento territorial e a gestão dos recursos hídricos, especialmente diante da elevada variabilidade climática característica do semiárido. A forte retração observada entre 2008 e 2015 evidencia a necessidade de estratégias de acompanhamento contínuo da disponibilidade de água superficial, particularmente em períodos de estiagem prolongada.

As limitações do estudo, detalhadas na seção 4.3, decorrem sobretudo de a análise restringir-se à extensão anual da superfície de água, sem variáveis explicativas que permitam estabelecer relações causais. Recomenda-se que pesquisas futuras integrem variáveis climáticas, hidrológicas e de uso e cobertura da terra, adotem dados de maior resolução espacial e temporal, discriminem os tipos de corpos hídricos naturais, reservatórios, hidrelétricas e aquicultura e apliquem testes formais de detecção de pontos de mudança para confirmar, de modo independente, as datas de transição entre as fases aqui identificadas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), por meio do edital CNPq/MCTI nº 441271/2023-5 –Presente, Passado e Futuro da Biodiversidade do Semiárido: Inventários, Monitoramento, Impactos das Mudanças Climáticas e Implicações para o Uso e Conservação da Flora, Fauna e Fungos. W.J.F.R. foi apoiado por bolsa de produtividade em pesquisa do CNPq (processo nº 314954/2021-0), Projeto Prospecta 4.0 –CNPq (processo nº 407907/2022-0) e pelo projeto 30202010010121001 –CTBIO –FINEP, associada ao Centro Temático de Bioeconomia do Semiárido (UEFS –CTBio-CIMATEC SERTÃO). Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Ciência

e Tecnologia em Estudos Interdisciplinares e Transdisciplinares em Ecologia e Evolução (INCT IN-TREE), financiado pelo CNPq (408930/2024-1), pela CAPES (88887.195651/2025-00) e pela FAPESP. Financiamento adicional foi fornecido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), por meio do programa Bioeconomia, Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental na Bahia, no âmbito da Chamada nº 38/2022, Acordo de Cooperação Técnica nº 294/2023 e Termo de Outorga nº PPF0003/2023. Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente (PPGM/UEFS) pelo apoio institucional, bem como ao SENAI CIMATEC pela contribuição no desenvolvimento científico e tecnológico voltado à inovação aplicada.R.N.V. foi apoiado pelo INCT IN-TREE e agradece a bolsa SET-G 30202010010121001 –CTBIO –FINEP, associada ao Centro Temático de Bioeconomia doSemiárido (UEFS –CTBio-CIMATEC SERTÃO), vinculado a Projetos Especiais.

REFERÊNCIAS

ALVES, T. L. B.; REZENDE, G. B. de M.; SANTOS, D. A. da S. Variação espacial da precipitação pluvial na bacia hidrográfica do Rio Itapicuru - BA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17., 2017, Campinas. Anais [...]. Campinas: Instituto de Geociências - UNICAMP, 2017. p. 2409-2416.

BATISTA, I. C. M.; RIOS, M. L.; BATISTA, R. O. Caracterização física da bacia hidrográfica do rio Itapicuru, Bahia. Enciclopédia Biosfera, v. 9, n. 17, 2013.

COOLEY, S. W.; RYAN, J. C.; SMITH, L. C. Human alteration of global surface water storage variability. Nature, v. 591, n. 7848, p. 78-81, 2021. DOI: https://doi.org/10.1038/s41586-021-03262-3.

DERVISOGLU, A. Investigation of long and short-term water surface area changes in coastal Ramsar sites in Turkey with Google Earth Engine. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 11, n. 1, art. 46, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/ijgi11010046.

DONCHYTS, G. et al. Earth's surface water change over the past 30 years. Nature Climate Change, v. 6, n. 9, p. 810-813, 2016. DOI: https://doi.org/10.1038/nclimate3111.

FAOUR, A. A.; AMACHA, N.; GHANDOUR, A. J. 50 years of water body monitoring: the case of Qaraaoun Reservoir, Lebanon. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. X-4/W8-2025, p. 235-241, 2026.

FERREIRA, B. G. et al. MapBiomas Água: dinâmica e tendência da superfície de água no Brasil. São Paulo: MapBiomas, 2023.

GETANEH, Y. et al. Surface water area dynamics of the major lakes of Ethiopia (1985-2023): a spatio-temporal analysis. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 132, art. 104007, 2024.

GÓMEZ, E. L. E.; RODRÍGUEZ, L.; THALMEIER, M. B. Spatio-temporal analysis of water dynamics of a large-scale plain region using remote sensing and proxy variables. Earth Systems and Environment, v. 10, n. 2, p. 1299-1321, 2026.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades e estados: Censo Demográfico 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2026. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/. Acesso em: 6 ago. 2026.

INEMA. INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. CBH Itapicuru. Salvador: Inema, 2026. Disponível em: https://www.ba.gov.br/inema/gestao-2/comites-de-bacias/comites/cbh-itapicuru. Acesso em: 7 ago. 2026.

KANG, M.; PARK, J.; HYUN, C.-U. Satellite imagery-based monitoring of water surface variability and its relationship with rainfall at Baengnokdam, Mount Hallasan, Jeju Island, South Korea. Korean Journal of Remote Sensing, v. 41, n. 4, p. 683-695, 2025.

KONAPALA, G. et al. Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation. Nature Communications, v. 11, n. 1, art. 3044, 2020.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. Econometrica, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945. DOI: https://doi.org/10.2307/1907187.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil - past, present, and future. Theoretical and Applied Climatology, v. 129, n. 3, p. 1189-1200, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8.

MEDEIROS, F. J. de et al. Hydrometeorological conditions in the semiarid and east coast regions of Northeast Brazil in the 2012-2017 period. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 93, n. 1, e20200198, 2021.

NAGEL, G. W.; DARBY, S. E.; LEYLAND, J. Surface water transitions 1984-2022: a global dataset at annual resolution. Scientific Data, v. 12, n. 1, art. 1729, 2025.

NIELSEN, A. Análise prática de séries temporais: previsão com estatística e aprendizado de máquina. Rio de Janeiro: Alta Books, 2021.

NOVAIS, M. P. S.; NOVAIS, G. S. C. Histórico dos desastres ocorridos na bacia hidrográfica do rio Itapicuru, Bahia, no período de 1991 a 2022. 2022.

PAPA, F. et al. Interannual variability of surface water extent at the global scale, 1993-2004. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 115, n. D12, D12111, 2010.

PEKEL, J.-F.; COTTAM, A.; GORELICK, N.; BELWARD, A. S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. Nature, v. 540, n. 7633, p. 418-422, 2016. DOI: https://doi.org/10.1038/nature20584.

PEREIRA JUSTINO, S. T. et al. Assessment of spatiotemporal variability in surface water and drought variability across the Brazilian Pantanal. Advances in Space Research, v. 78, n. 3, p. 2374-2399, 2026.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics), v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979. DOI: https://doi.org/10.2307/2346729.

PORCIÚNCULA, D. Diagnóstico da situação do saneamento na bacia do rio Itapicuru, Bahia. 2008.

PRIGENT, C. et al. Changes in land surface water dynamics since the 1990s and relation to population pressure. Geophysical Research Letters, v. 39, n. 8, L08403, 2012.

PROJETO MAPBIOMAS. Mapeamento da superfície de água no Brasil: Coleção 5. São Paulo: MapBiomas, 2026. Disponível em: https://mapbiomas.org/. Acesso em: 8 ago. 2026.

RODRIGUES, A. L. Modelagem da dinâmica de água em pequenas barragens. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2022.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968. DOI: https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika, v. 52, n. 3-4, p. 591-611, 1965. DOI: https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591.

SOGNO, P.; KLEIN, I.; KUENZER, C. Remote sensing of surface water dynamics in the context of global change: a review. Remote Sensing, v. 14, n. 10, art. 2475, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/rs14102475.

SOUZA, E. da S.; SANTOS, J. Estudo geomorfológico em ambiente semiárido: bacia hidrográfica do rio Itapicuru-Mirim, Bahia, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 20., 2024. Anais [...]. [S. l.]: Editora Realize, 2024.

SOUZA JR., C. M. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. Remote Sensing, v. 12, n. 17, art. 2735, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/rs12172735.

WANG, C. et al. Long time series water extent analysis for SDG 6.6.1 based on the GEE platform: a case study of Dongting Lake. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, v. 15, p. 490-503, 2022.

YADAV, A. et al. Mapping reservoir water surface area in the contiguous United States using the high-temporal Harmonized Landsat and Sentinel (HLS) data at a sub-weekly time scale. Geophysical Research Letters, v. 52, n. 11, e2024GL114046, 2025.