

DINÂMICA DOS ESPELHOS D'ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS DA BAHIA: UMA APLICAÇÃO A PARTIR DO SENSORIAMENTO REMOTO

Dynamics of water level in Bahia reservoirs: an application based on Remote Sensing

Antônio Helton da Silva Barbosa

Mestre em Ciências Naturais - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

helton_asb@hotmail.com

Miguel Dragomir Zanic Cuellar

Engenheiro Eletrônico – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

miguel.cuellar@inpe.br

Melquisedec Medeiros Moreira

Doutor em Geotecnia – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

melquisedec.moreira@inpe.br

Kátia Alves Arraes

Mestre em Ciências da Computação – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

katia.arraes@inpe.br

Camila Saiury Pereira Silva

Mestre em Ciências Naturais – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

camila.saiury@inpe.br

Recebido: 03.12.2021

Aceito: 30.06.2022

Resumo

Nos últimos anos, em meio à seca e a crise hídrica que afetou várias regiões do Brasil, em particular a região semiárida, os volumes dos reservatórios vêm sendo constantemente monitorados. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar, por meio de Sensoriamento Remoto, a dinâmica dos espelhos d'água dos reservatórios da Bahia, a fim de mostrar como a área dos espelhos d'água foram afetados pelas baixas precipitações, compreendendo os anos de 2012 a 2017. Para isso, foi utilizado a plataforma Google Earth Engine para analisar imagens do Landsat. Para a delimitação das águas, foi utilizada uma técnica de realce para converter as imagens RGB para HVS, criando uma imagem pancromática e facilitando o processo de identificação dos espelhos d'água. Desse modo, os resultados indicaram que a influência da variabilidade da precipitação e os impactos de outros fatores reduziram a quantidade de água superficial disponível de modo que dos 34 reservatórios estudados 16 tiveram redução de sua área ao final do período analisado. Essas informações são extremamente importantes para o planejamento e a gestão ambiental dos recursos hídricos, sob a perspectiva de fomentar políticas de abastecimento e, com isso, ampliar a capacidade de enfrentar problemas relacionados à segurança hídrica.

Palavras-chave: Nordeste; Recursos hídricos; Seca; Google Earth Engine; Landsat.

Abstract

In recent years, amid the drought and water crisis that affected several regions of Brazil, in particular the semi-arid region, reservoir volumes have been constantly monitored. In this context, the objective of this work was to analyze the dynamics of the water mirrors of the reservoirs of Bahia reservoirs to show how the water mirrors were affected by low rainfall comprising the years of 2012 to 2017. The Google Earth Engine platform was used to analyze Landsat images. For the delimitation of the waters, an enhancement technique was used to convert the RGB images to HVS, creating a panchromatic image and facilitating the process of identifying the water mirrors. Thus, the results indicated that the influence of precipitation variability and the impacts of other factors reduced the amount of surface water available, so that of the 34 reservoirs studied, 16 had their area reduced at the end of the analyzed period. This information is essential for the planning and environmental management of water resources, from the perspective of promoting supply policies and, thus, expanding the capacity to face problems related to water security.

Keywords: Northeast; Water resources; Drought; Google Earth Engine; Landsat.

1. INTRODUÇÃO

De forma simplificada, os espelhos d'água são, no contexto da gestão dos recursos hídricos, às superfícies contínuas de água de um corpo hídrico exposta à atmosfera, correspondendo, em geral, à área ocupada por esse corpo d'água, seja um lago, lagoa, açude, reservatório de barragem etc. (ANA, 2013).

Dentro do aspecto da importância dos recursos hídricos, as águas doces superficiais constituem uma pequena fração dos recursos hídricos existentes no planeta, entretanto, o seu valor econômico e social para as populações humanas é inestimável, considerando que estas águas são as mais acessíveis. Além disso, podemos dizer que as águas doces superficiais fornecem uma diversidade de serviços ecossistêmicos abrangentes para toda a vida (POSTEL *et al.*, 1996; PEKEL *et al.*, 2016).

Os reservatórios desempenham um serviço fundamental na acumulação da água proveniente dos períodos chuvosos ou de maior vazão dos corpos hídricos, em diversas regiões hidrográficas (ANA, 2013). Porém, as precipitações abaixo da média e os eventos de seca extrema observada nos últimos anos (CUNHA *et al.*, 2019), resultaram em uma crise hídrica que afetou substancialmente várias regiões do Brasil e, em particular, a região semiárida no período de 2012 a 2017.

Desse modo, a gestão das reservas hídricas superficiais é uma questão ambiental crítica, principalmente em regiões áridas e semiáridas, sendo importante quantificar a sua distribuição espacial e temporal, tanto localmente quanto regionalmente (TULBURE e BROICH, 2019). Entender a dinâmica espaço-temporal da superfície dos corpos d'água

constituem a base para a compreensão do efeito das chuvas para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental (TULBURE e BROICH, 2013).

A dinâmica da perda de água no território brasileiro pode ter consequências preocupantes, aumentando as dificuldades para a gestão e uso sustentável dos recursos hídricos. De acordo com a análise de imagens de satélite feitas pelo MapBiomas, o Brasil perdeu 15,7% da superfície de água nos últimos 30 anos, onde todos os biomas, todas as regiões hidrográficas, assim como 23 dos 27 estados, tiveram redução de suas áreas alagadas. Além disso, os dados mostram uma tendência de decréscimo na superfície de água em 8 das 12 regiões hidrográficas (MAPBIOMAS, 2021).

Nesse sentido, o Sensoriamento Remoto oferece uma gama de alternativas para a observação contínua deste recurso natural, permitindo diversas aplicações, como a detecção, o mapeamento, e a caracterização bio-óptica dos corpos d'água em larga escala (BARBOSA; NOVO; MARTINS, 2019). Desse modo, as medições por satélite e outras plataformas também são uma fonte de informações para permitir o mapeamento das águas superficiais do ecossistema aquático em planícies de inundação, rios, canais, lagos e reservatórios (SOUZA *et al.*, 2019).

Devido ao efeito da absorção de luz, os corpos d'água têm uma reflectância espectral relativamente menor do que outros alvos de superfície no espectro visível e infravermelho, tornando os corpos d'água facilmente detectáveis (YAN *et al.*, 2019). Assim, várias são as técnicas de Sensoriamento Remoto para a identificação de corpos d'água (ELSAHABI *et al.*, 2016). Esse conjunto de possibilidades abrange desde o uso de vários índices espectrais (DU *et al.*, 2016); e tipos de sensores, sejam eles ativos (PHAM-DUC *et al.*, 2017) e/ou passivos (MUELLER *et al.*, 2016); de diferentes resoluções espaciais (CHEN *et al.*, 2018), espectrais e temporais (COOLEY *et al.*, 2017).

Outros exemplos são as aplicações em pesquisas para classificação de corpos d'água (KO *et al.*, 2015); monitoramento da qualidade da água (XU *et al.*, 2021), do volume em reservatórios (DUAN e BASTIAANSEN, 2013), da dinâmica espacial e global da água (PICKENS *et al.*, 2020) e mapeamento territorial (MOREIRA, 2002; MOREIRA *et al.*, 2018)

Dessa forma, as potencialidades da utilização do Sensoriamento Remoto para o estudo e monitoramento dos recursos hídricos são muito diversificadas e de grande relevância. Nesse sentido, as técnicas de Sensoriamento Remoto e dos seus produtos têm apresentado grandes aplicabilidades para o monitoramento e gestão dos recursos hídricos nas últimas décadas. Além disso, ainda é capaz de monitorar e analisar extensas

áreas em menor tempo e com melhor custo-benefício com o advento da computação em nuvem e do *Big Data*.

Assim, em virtude do número elevado de reservatórios existentes na Bahia e diante da relevância dos recursos hídricos para o desenvolvimento socioeconômico, o propósito deste trabalho foi mapear e analisar, por meio de Sensoriamento Remoto, a dinâmica dos espelhos d'água dos principais reservatórios do estado da Bahia, a fim de mostrar como a área dos espelhos d'água dos reservatórios foram afetados pelas precipitações abaixo da média durante os últimos seis anos de seca na Região Nordeste do Brasil, compreendendo os anos de 2012 a 2017.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo engloba os principais reservatórios inseridos nas principais regiões hidrográficas da Bahia, como mostra a figura 1. O estado da Bahia é dividido em 77 regiões com características relativamente homogêneas chamadas de Unidades de Balanço (UB), caracterizando assim, a Divisão Hidrográfica Estadual, composta de 13 Bacias Hidrográficas (PERHBA, 2005).

Nas 13 divisões hidrográficas (São Francisco, Vaza-Barris, Itapicuru, Real, Paraguaçu, Inhambupe, Recôncavo Norte, Recôncavo Sul, Contas, Pardo, Leste, Jequitinhonha e Extremo Sul), foram construídos vários reservatórios a fim de se criarem reservas hídricas superficiais para promover o uso múltiplo das águas e diminuir a vulnerabilidade a secas e inundações.

Desse modo, foram mapeados os reservatórios estratégicos para o abastecimento do estado da Bahia e que possuem capacidade hídrica acima de 14 milhões de m³. Tais informações foram coletadas a partir de dados disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA).

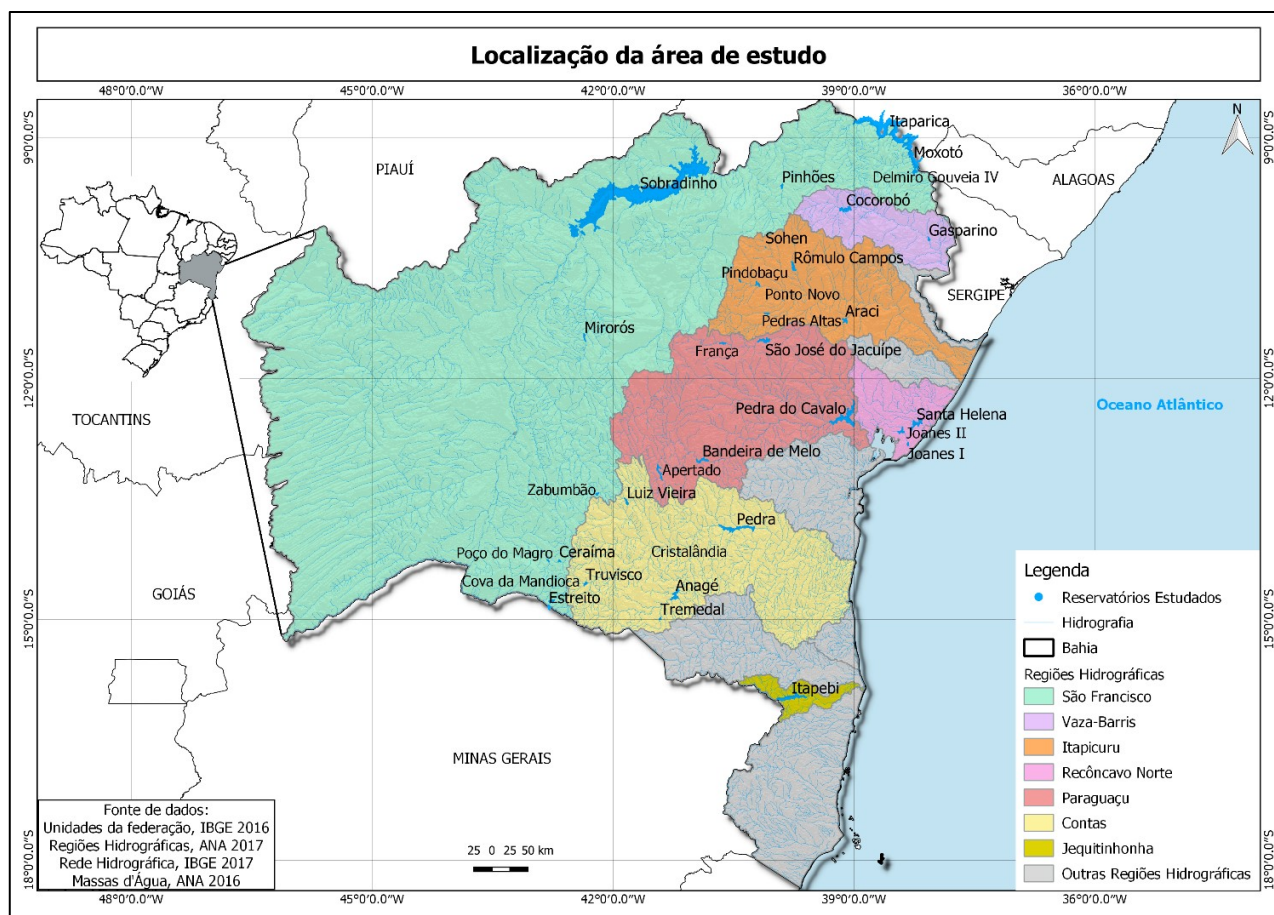


Figura 1 – Localização dos reservatórios, drenagens e limites das bacias hidrográficas da Bahia.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

2.1. Fatores geoambientais

A disposição dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos depende de muitas relações mútuas, sobretudo da integração dos fatores climáticos, geomorfológicos e geológicos. Somam-se a isso, as modificações realizadas pelas atividades humanas, como usos múltiplos do solo, construções de barragens, transposição das águas etc. Assim, a análise integrada do meio físico por esses fatores, permitem um melhor entendimento sobre as relações geológico-ambientais e o comportamento das reservas hídricas frente aos eventos de seca.

O estado da Bahia apresenta predominantemente clima do tipo semiárido, representando cerca de 68% da área total, caracterizando-se por baixos índices pluviométricos anuais. Esse tipo climático é encontrado principalmente nas mesorregiões norte e nordeste do estado, assim como em algumas partes das mesorregiões do vale do São Francisco, Chapada Diamantina e sudoeste do estado. Suas principais características são as temperaturas médias anuais acima de 24°C, com pluviosidade anual inferior a 700mm, ocorrendo longos períodos de seca (INEMA, 2009).

Já nas outras regiões observam-se precipitações acima de 1000 mm, caracterizando climas tropical chuvoso na porção sul e oeste do estado e na mesorregião do recôncavo. A tipologia climática tropical de altitude ocorre na parte central em áreas que apresentam maior elevação topográfica, como por exemplo, as regiões da chapada Diamantina e nas serras do Espinhaço e Jacobina. De forma simplificada, a Bahia se caracteriza pela presença de três tipos de clima, o tropical chuvoso, o tropical de altitude e o semiárido, como pode ser observado na figura 2.

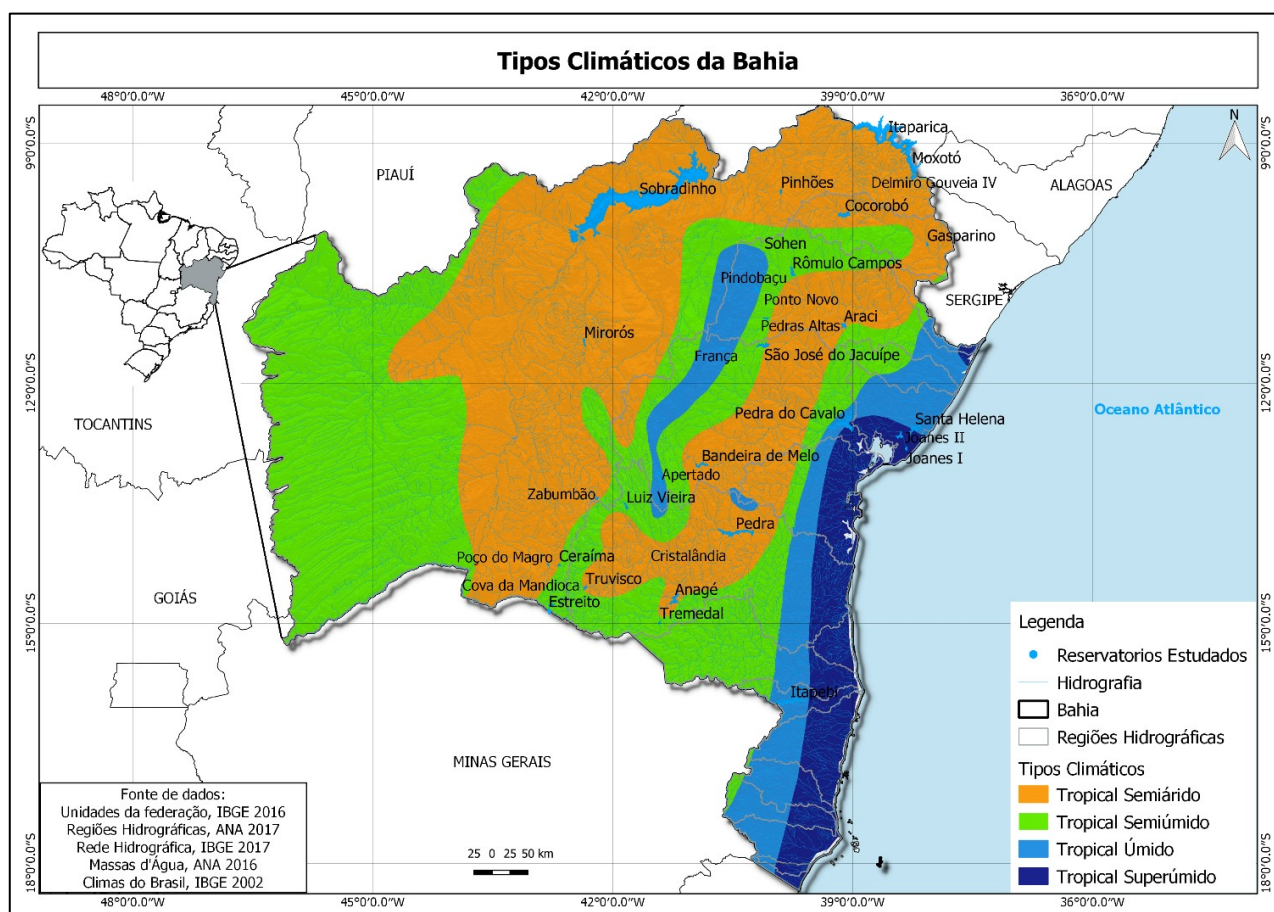


Figura 2 – Tipos climáticos do estado da Bahia.

Fonte: adaptado do IBGE, 2002.

Em termos de relevo, a Bahia comporta características de um conjunto de fatores geológicos e geomorfológicos, abrigando em seu território regiões de baixa e média altitude nas depressões periféricas, Interplanálticas e no litoral; assim como locais de altitude mais elevadas como o planalto do Jequitinhonha no sul da Bahia, planaltos pré-litorâneos, chapadas Diamantina e do oeste do São Francisco, além da serra Geral do Espinhaço e Jacobina. Já a sua estrutura geológica complexa pode ser simplificada em grupos de rochas cristalinas e rochas sedimentares. Estas últimas, ocupam a maior parte do Estado, conforme pode ser observado na figura 3.

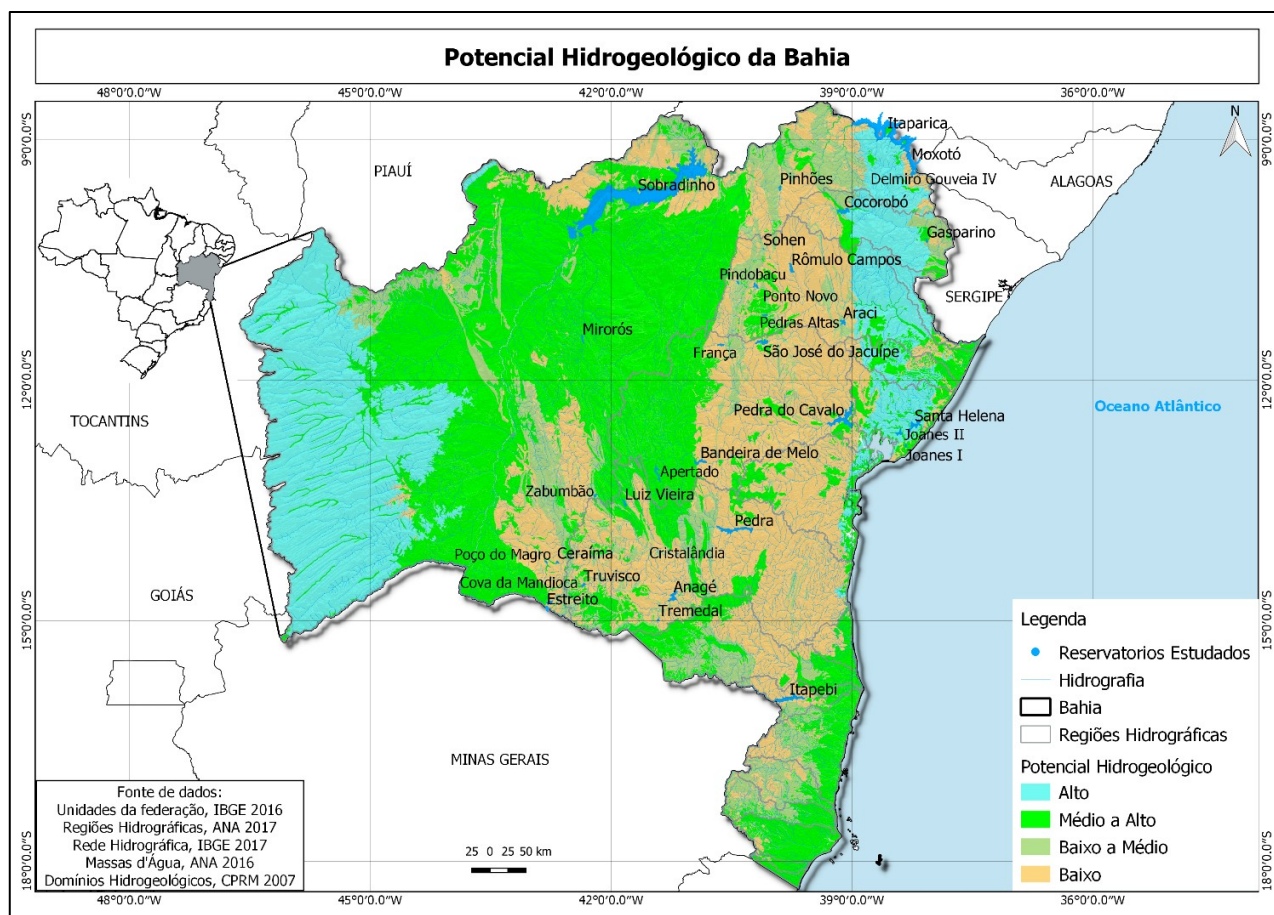


Figura 3 – Mapa do Potencial Hidrogeológico do estado da Bahia.

Fonte: adaptado da CPRM, 2007.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar o mapeamento espacial e temporal do comportamento dos espelhos d'água das principais reservas hídricas superficiais do estado da Bahia durante o período de 2012 a 2017, no qual foram registradas precipitações abaixo da média, utilizou-se a plataforma do *Google Earth Engine* (GEE), uma avançada plataforma de processamento geoespacial baseada em nuvem, feita principalmente para análises de dados ambientais em escala planetária (big data); assim como o QGis, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) livre e gratuito de visualização, edição e análise de dados.

Como produtos do Sensoriamento Remoto, foram utilizados um conjunto de imagens dos satélites Landsat 7 e Landsat 8. No GEE foram carregadas as imagens dos satélites Landsat 7 para os anos de 2012 e 2013, e Landsat 8 para os anos de 2014 a 2017. Logo depois, foi realizada a composição colorida RGB 3-4-5 para as imagens do sensor ETM/Landsat 7, e 6-5-4 para o OLI/Landsat 8.

Para o geoprocessamento dos dados, utilizou-se conjuntos de imagem dos satélites Landsat 7 e 8. As imagens do Landsat 7 compreenderam o período de 2012 a 2013 e as

imagens do Landsat 8 o período de 2014 a 2017. As composições de imagens foram trabalhadas separadamente em scripts diferentes, ano por ano. Dessa maneira, como critério de seleção de imagens realizou-se a filtragem por data (*filterDate*) compreendendo o intervalo de um ano (01-01-201X a 31-12-201X) e pela geometria (*filterBounds*) que compreendeu os limites do estado da Bahia. Em seguida aplicou-se o comando: *.map*, para processar a máscara de nuvem por todas as cenas da composição e, por fim, retornou-se a mediana da composição, gerando o mosaico anual a ser trabalhado.

No tocante à máscara de nuvens, aplicou-se um processo simplificado para reduzir a influência da cobertura de nuvens sobre a composição de imagens. Para isso, utilizou-se o algoritmo *ee.Algorithms.Landsat.simpleCloudScore* que calcula uma pontuação simples de probabilidade de nuvem no intervalo de 0 a 100 usando uma combinação de brilho, temperatura e *Normalized Difference Snow Index* (NDSI). Neste estudo, foi definido o valor limiar de probabilidade de nuvem menor que 70.

Logo depois, foi realizada a composição colorida RGB 3-4-5 para as imagens do sensor ETM/Landsat 7, e 6-5-4 para o OLI/Landsat 8. Em seguida, para determinar áreas com superfície de água, denominados “espelhos d’água”, foi utilizado a técnica de conversão da imagem RGB para HSV (IHS ou HLS) (*Intensity, Hue, Saturation*), criando uma imagem pancromática (preto e branco) utilizando a componente *Hue*.

A extração dos corpos d’água por meio desta técnica de realce consiste em desagregar a informação espectral das componentes matiz (*Hue*) e saturação (*Saturation*), e a espacial na componente intensidade (*Intensity*), contribuindo no realce de objetos e feições (Florenzano, 2011).

Dessa forma, foi utilizada a banda matiz, ou seja, o componente *Hue* para gerar uma imagem pancromática com informações sobre os alvos de superfície onde os corpos d’água se diferenciam dos outros alvos, facilitando o processo de identificação e extração dos espelhos d’água.

A aplicação de procedimentos de identificação e extração de informações para o mapeamento das reservas hídricas superficiais com o uso da técnica de realce de conversão das imagens RGB dos sensores dos satélites Landsat para HSV, é uma metodologia ativa e amplamente conhecida, sendo, dessa forma, utilizada neste estudo.

Posteriormente, foram exportados do GEE as imagens correspondentes aos valores de *Hue* (espelhos d’água) da área de estudo. Em sequência, os dados matriciais foram importados para o QGIS para a etapa de processamento e quantificação das áreas dos espelhos d’água.

Assim, foi possível realizar uma análise visual preliminar sobre a dinâmica de contração e expansão dos corpos d'água ao longo dos seis anos mapeados, bem como subsidiar as análises quantitativas de tais mudanças. Na sequência, com os dados de área ocupada, foram elaborados gráficos, tabelas e mapas temáticos sobre o comportamento espacial e temporal dos espelhos d'água. O mapeamento e quantificação das áreas permitiram observar o comportamento e dinâmica de ganho e perda dos espelhos d'água na Bahia.

Além disso, para poder relacionar a dinâmica dos espelhos d'água com os dados das precipitações, foram elaborados gráficos das precipitações médias anuais ocorridas nos reservatórios para o período de 2011 a 2017, com os dados de 47 postos pluviométricos disponibilizados no site HidroWeb, da ANA (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>). Cabe destacar que foi escolhido o ano de 2011 como ano base para a análise da série temporal da precipitação média anual, pois foi entendido que o comportamento das áreas dos reservatórios do ano de 2012, ano base do mapeamento dos espelhos d'água, só poderia ser compreendido em sua totalidade com as informações das precipitações do ano anterior (2011), ajudando também na interpretação de toda a série temporal das precipitações e suas possíveis correlações com a diminuição ou crescimento das áreas dos espelhos d'água.

Ao todo foram mapeados 34 reservatórios, sendo 11 na bacia do rio São Francisco, seis na bacia do rio Contas, seis na bacia do rio Itapicuru, cinco na bacia do rio Paraguaçu, três na bacia Recôncavo Norte, dois na bacia Vaza-Barris e um reservatório na bacia do rio Jequitinhonha. Os resultados de todo o mapeamento estão disponíveis no sítio do Grupo de Geoprocessamento do Coordenação Espacial do Nordeste (COENE) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE): http://geopro.crn.inpe.br/RH_reser_Bahia.htm.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 mostra os valores das áreas dos espelhos d'água mapeadas para cada ano, assim como apresenta o percentual da variação de área (ganho ou perda) durante o período estudado, tendo como base o ano de 2012, bem como a capacidade hídrica dos reservatórios.

Os resultados indicaram que dos 11 reservatórios mapeados na bacia do rio São Francisco, cinco barragens, a saber: Delmiro Golveia IV, Itaparica, Moxotó, Sobradinho e Zabumbão, perderam área dos espelhos d'água durante o período analisado.

Em contraponto com os reservatórios que tiveram redução de superfície de água, cabe destacar os reservatórios que apresentaram ganho de área, são eles: Ceraíma, Cova da Mandioca, Estreito, Mirorós, Pinhões e Poço do Magro. Com relação ao reservatório Poço do Magro, este apresentou aumento expressivo de seu espelho d'água, fato ocorrido já no ano de 2013 em relação ao ano anterior. Este reservatório obteve um aumento de aproximadamente 5.000% de sua área em relação ao ano base de 2012.

Este quadro de crescimento pode estar associado a vários fatores, como chuvas concentradas na sub-bacia deste reservatório, por exemplo. Ademais, a localização geográfica dos reservatórios dentro da bacia hidrográfica (alto, médio e baixo curso), podem também explicar as variações de área dos reservatórios que não podem ser elucidadas apenas com base nos dados da precipitação média anual da bacia.

Tabela 1: Variação temporal das áreas dos espelhos d'água dos reservatórios da bacia São Francisco.

Reservatórios	Capacidade (m ³)	Área dos Espelhos D'Água (Km ²)						Variação Percentual de Área: (+) Ganho e (-) Perda
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Ceraíma	58.000.000	1,17	0,95	2,75	3,54	4,52	4,38	+ 274,36
Cova da Mandioca	126.010.000	1,98	2,23	8,16	5,51	9,29	6,99	+ 253,03
Delmiro Golveia IV	127.500.000	13,53	11,41	13,51	13,68	13,44	13,30	- 1,70
Estreito	67.560.000	2,80	3,06	4,68	3,40	6,47	5,20	+ 85,71
Itaparica	10.782.000.000	716,72	652,47	648,22	621,02	630,89	615,88	- 14,07
Mirorós	158.400.000	1,43	1,15	1,73	1,65	2,73	2,07	+ 44,76
Moxotó	1.277.000.000	73,98	67,40	73,47	72,66	71,53	68,29	- 7,69
Pinhões	15.215.750	1,59	1,30	4,64	2,66	4,02	1,64	+ 3,14
Poço do Magro	37.000.000	0,07	0,09	2,55	4,21	4,44	3,81	+ 5.342,86
Sobradinho	34.116.000.000	2.740,34	2.330,24	2.430,78	1.732,82	1.823,63	1.507,30	- 45,00
Zabumbão	60.853.000	2,65	2,06	2,32	2,49	2,70	2,28	- 13,96

Fonte: Autores.

As informações do gráfico da precipitação média anual da bacia de contribuição dos reservatórios para o período de 2011 a 2017 (Figura 4), auxiliam no entendimento da dinâmica dos espelhos d'água destes reservatórios, tendo em vista que as precipitações os afetam diretamente.

Sob a perspectiva das mudanças no regime de chuvas e variabilidade climática, Paredes-Trejo *et al.* (2021) realizaram uma avaliação de secas na bacia do rio São Francisco por meio de Índices Terrestres e de Satélite, no período de 1980 a 2015, e observaram uma tendência de secagem em escala de tempo anual nas regiões médio e sul da bacia e uma expansão da área sob condições de seca apenas durante os meses

de inverno do hemisfério sul, demonstrando que as condições de seca estavam piorando em termos de frequência, extensão espacial, duração e severidade.

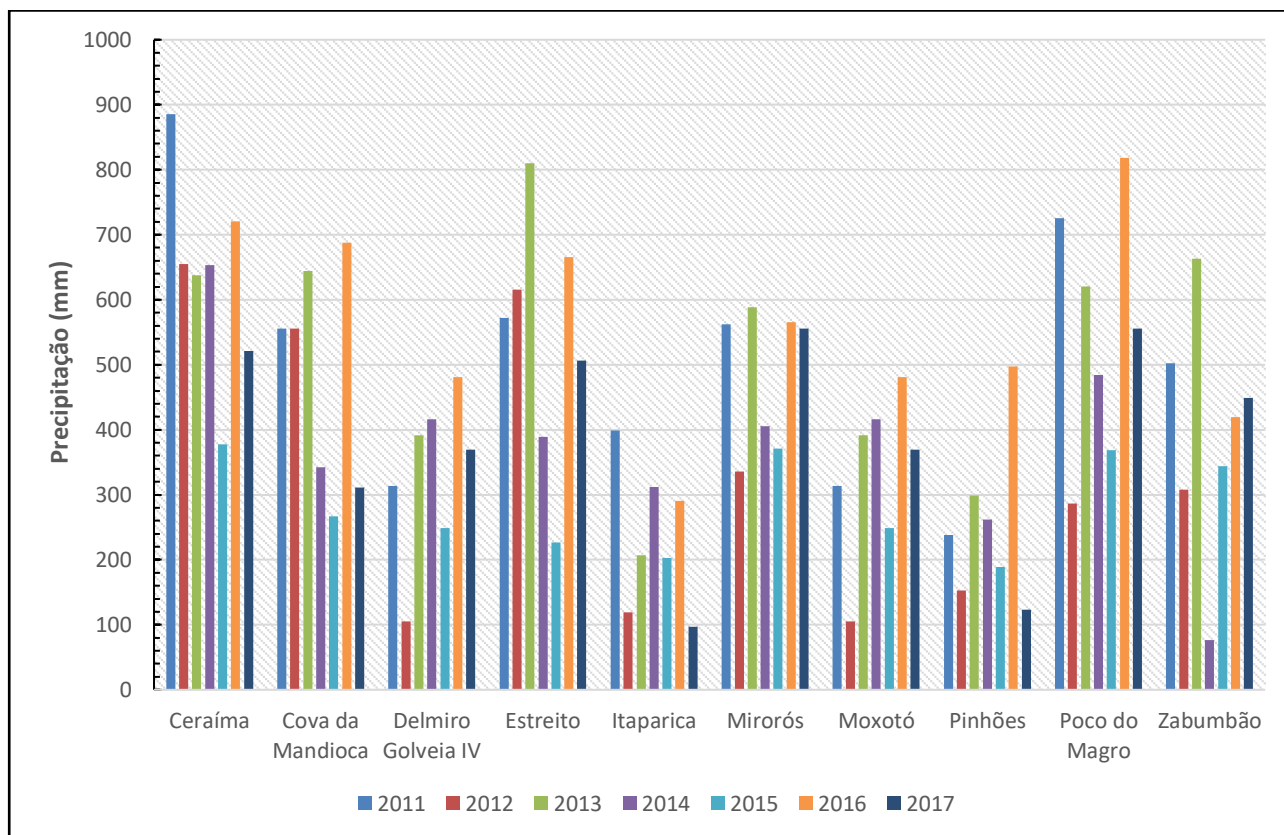


Figura 4 – Precipitação média anual sobre a bacia de contribuição dos reservatórios do São Francisco no período de 2011 a 2017. **Fonte:** adaptado da ANA, 2022.

Essas informações ajudam a entender sobre a redução de áreas alagadas apresentadas por alguns reservatórios na bacia do São Francisco. Entre os reservatórios que perderam área dos espelhos d'água, Sobradinho exibiu a maior redução, mesmo apresentando a maior capacidade hídrica para a bacia do São Francisco (34.116 hm³), chegando a perder 45% de sua área. Já Itaparica apresentou a segunda maior redução, com aproximadamente 14%, seguidos de Zabumbão, Moxotó e Delmiro Golveia IV com 13,96%, 7,69% e 1,70%, respectivamente.

Ainda com relação a dinâmica, cabe destacar o conjunto dos reservatórios de Sobradinho, Itaparica, Moxotó e Delmiro Golveia IV que possuem distribuição espacial em ordem sucessiva e regime de operação em cascata. Com relação a esse regime, Barbosa *et al.* (1999) destaca que a configuração desses reservatórios em ordem sucessiva em um mesmo percurso de rio e dispostas numa sequência, apresentam significativa dependência entre si, com implicações na estrutura e no funcionamento.

Nesse caso, esse sistema de operação afeta diretamente o volume e, por vezes, o espelho d'água, visto que parte dos lagos de alguns desses reservatórios estão represados em cânions, onde é difícil estabelecer, por meio de imagens ópticas de satélite de média resolução, uma relação entre volume e a área alagada. Dessa forma, a dinâmica das áreas alagadas do médio/baixo São Francisco não é afetada apenas pela variabilidade espacial e temporal das chuvas, mas também pela alocação de água entre os reservatórios, para o projeto de transposição de águas, assim como pela geomorfologia onde os reservatórios estão assentados.

Nesse contexto, as informações do gráfico (Figura 5) de precipitação média anual para o período de 2011 a 2017 das estações climatológicas a montante de Sobradinho (Figura 6), no alto e médio curso do rio São Francisco, ajudam a explicar a dinâmica de ganho e perda anual de área observada neste reservatório.

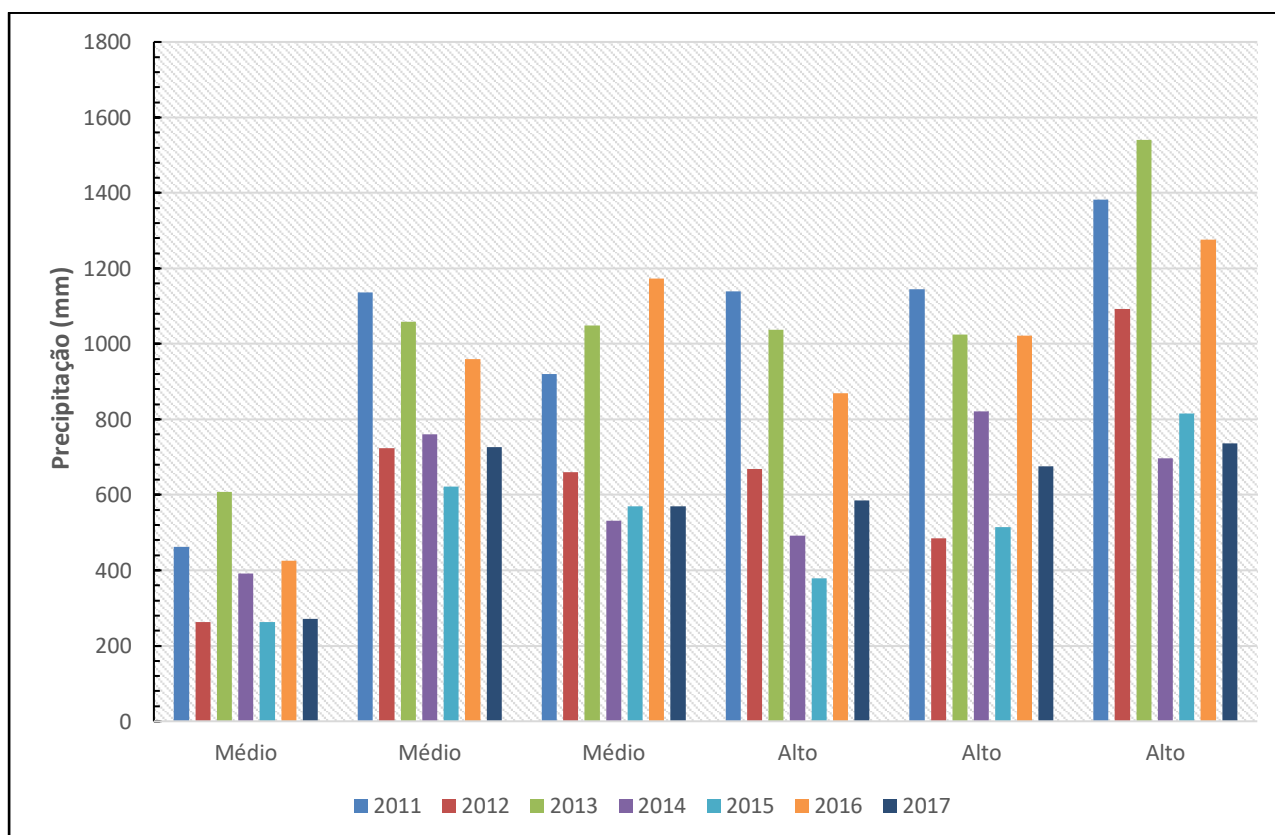


Figura 5 – Precipitação média anual sobre a bacia de contribuição a montante de Sobradinho no período de 2011 a 2017. **Fonte:** adaptado da ANA, 2022.

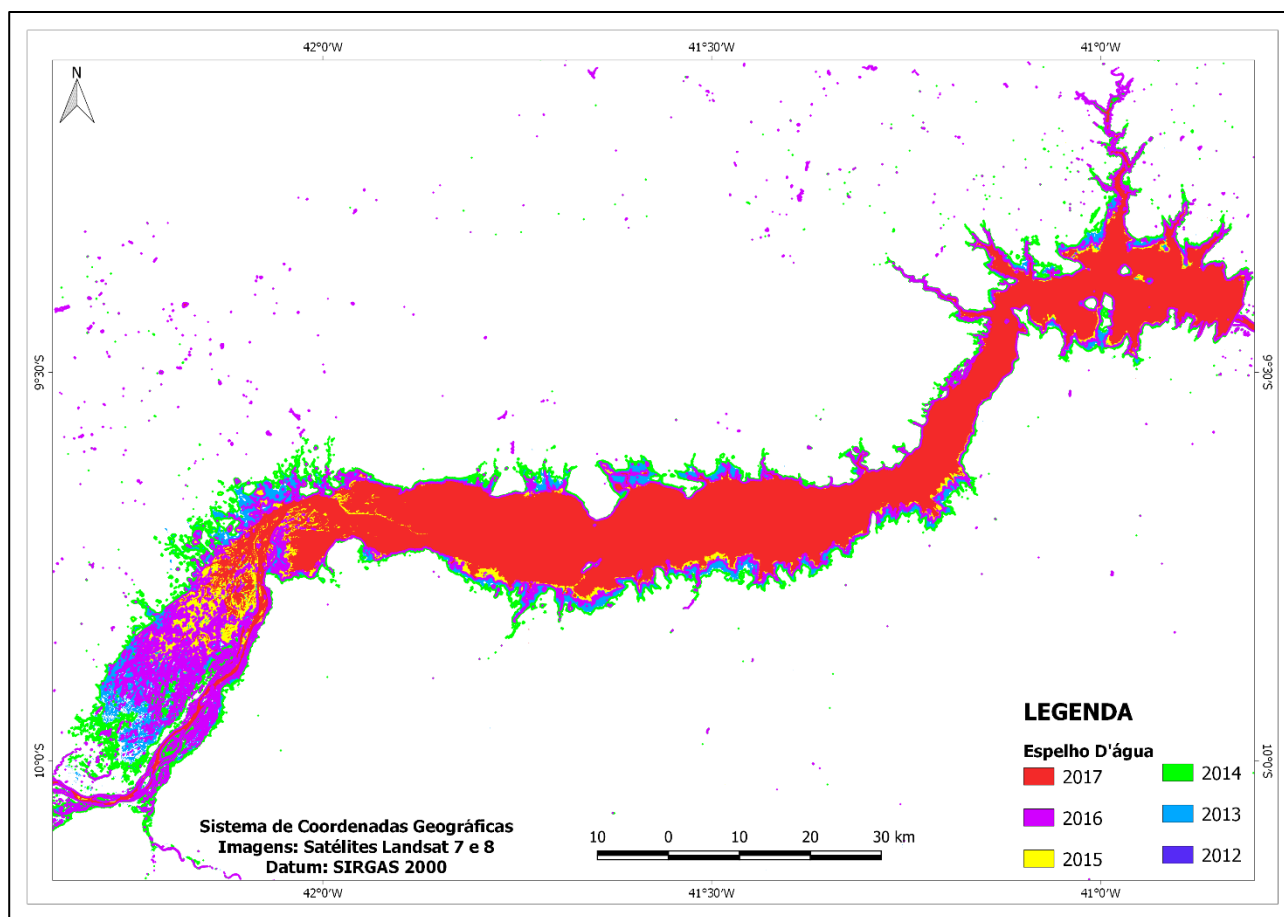


Figura 6 – Dinâmica do espelho d'água do reservatório Sobradinho, Bahia.

Fonte: Resultados da pesquisa, 2022.

Na bacia do rio de Contas, localizada em região de tipo climático predominantemente semiárido, quase todos os reservatórios apresentaram aumento dos seus espelhos d'água. Dessa forma, apenas a barragem de Luiz Vieira apresentou redução, com pouco mais de 3%, conforme pode ser observado na tabela 2.

Tabela 2: Variação temporal das áreas dos espelhos d'água dos reservatórios da bacia Contas.

Reservatórios	Capacidade (m ³)	Área dos Espelhos D'Água (Km ²)						Variação Percentual de Área: (+) Ganho e (-) Perda
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Anagé	255.630.000	7,79	6,02	12,48	13,17	13,77	11,62	+ 49,17
Cristalândia	16.650.300	1,57	1,98	1,77	1,72	1,39	1,78	+ 13,38
Luiz Vieira	105.000.000	2,64	2,17	2,22	2,76	3,16	2,54	- 3,79
Pedra	1.640.000.000	42,95	40,85	55,21	58,77	69,57	48,93	+ 13,92
Tremedal	23.751.000	0,93	0,63	1,69	1,85	2,14	2,11	+ 126,88
Truvisco	38.949.800	0,95	1,17	2,02	1,84	1,84	1,35	+ 42,11

Fonte: Autores.

No contexto da bacia Contas, os reservatórios que aumentaram o espelho d'água foram Anagé, Cristalândia, Pedra, Tremedal e Truvisco. A barragem de Tremedal (Figura 7) exibiu aumento já no ano de 2014, chegando ao total de 126,88% ao final do período.

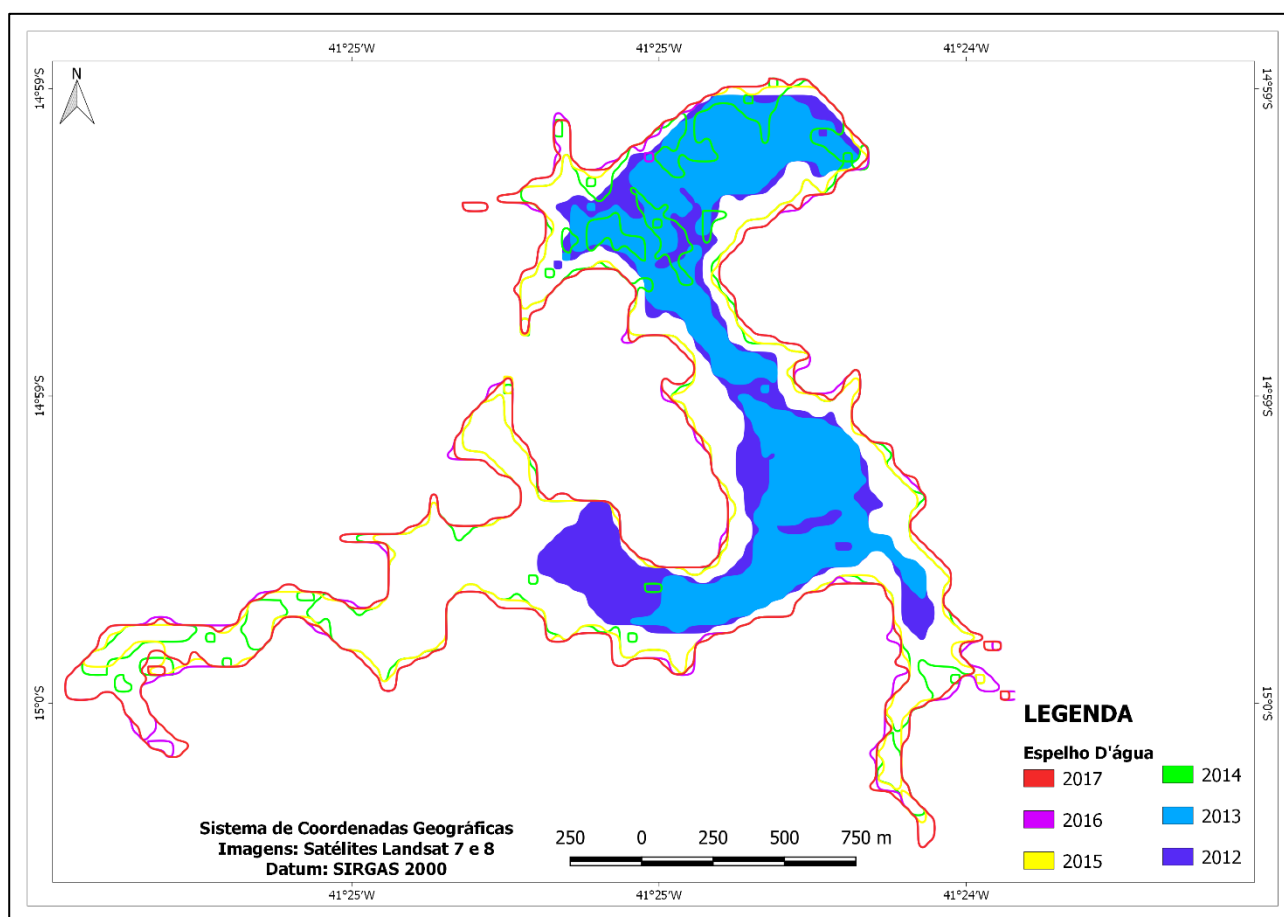


Figura 7 – Dinâmica do espelho d'água do reservatório Tremedal, Bahia.

Fonte: Resultados da pesquisa, 2022.

A análise do comportamento das precipitações nos reservatórios desta bacia pode auxiliar na compreensão da dinâmica observada nestes reservatórios. Além disso, é possível perceber uma redução significativa dos valores de precipitação pluviométrica no ano de 2012 em quase todos os reservatórios quando comparado aos valores do ano anterior, conforme pode ser observado na figura 8.

Outra importante bacia, localizada na mesorregião do nordeste baiano, é a bacia do rio Itapicuru. A bacia apresenta clima semiárido em 81% da área, com chuvas anuais inferiores a 700 mm. No alto curso da bacia, já na Chapada da Diamantina, o clima torna-se mais ameno mudando para o tipo subúmido a seco, com os totais pluviométricos atingindo até 900 mm. No trecho inferior da bacia, o clima muda para o tipo úmido a subúmido com precipitações acima de 1000 mm. Com relação aos domínios geológico-geomorfológico apresenta terrenos de alta declividade; áreas de domínio geológico

cristalino; terrenos associados à bacia sedimentar do Recôncavo Tucano e áreas cristalinas próximo ao litoral (INEMA, 2021).

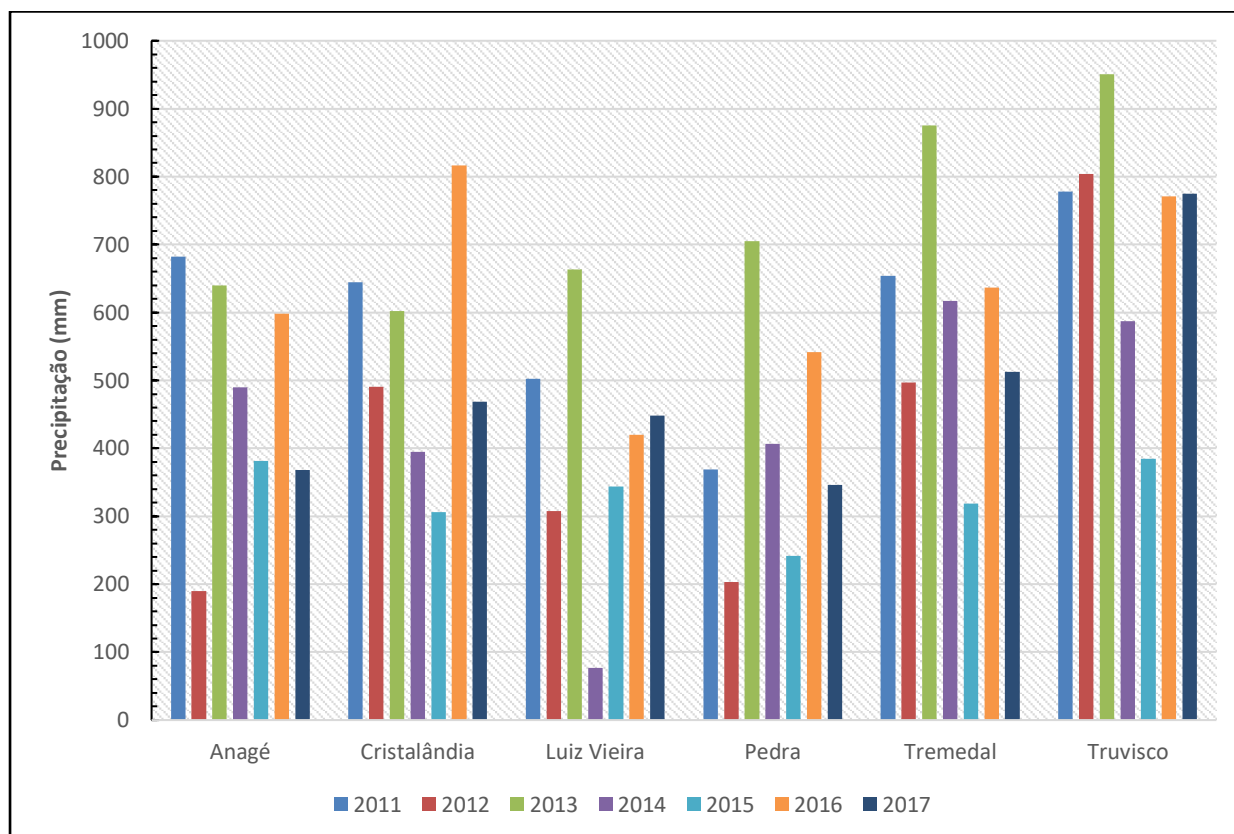


Figura 8 – Precipitação média anual sobre a bacia de contribuição dos reservatórios da bacia Contas no período de 2011 a 2017. Fonte: adaptado da ANA, 2022.

Nesta bacia, foram analisados seis reservatórios dos quais apenas Rômulo Campos e Sohen apresentaram aumento do espelho d'água. Nessa perspectiva, a barragem Rômulo Campos (Figura 9) retratou este cenário de ganho, em relação ao período de 2012, a partir do período de 2014. Já a barragem de Sohen apresentou o maior ganho percentual desta bacia, como mostra a tabela 3.

Tabela 3: Variação temporal das áreas dos espelhos d'água dos reservatórios da bacia Itapicuru.

Reservatórios	Capacidade (m³)	Área dos Espelhos D'Água (Km²)						Variação Percentual de Área: (+) Ganho e (-) Perda
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Araci	65.839.200	6,57	5,38	4,50	3,53	7,13	4,65	- 29,22
Pedras Altas	38.450.000	2,59	1,74	2,46	3,16	3,37	1,34	- 48,26
Pindobaçu	16.800.000	0,98	1,27	0,99	1,14	1,13	0,91	- 7,14
Ponto Novo	38.940.000	3,16	5,66	5,03	5,60	4,47	2,74	- 13,29
Rômulo Campos	146.819.000	4,96	2,09	5,02	4,48	17,26	13,94	+ 181,05
Sohen	14.856.000	0,12	0,67	0,64	0,60	1,35	1,16	+ 866,67

Fonte: Autores.

Na mesma bacia, o reservatório Araci, segundo maior reservatório desta bacia, embora possua capacidade para acumular uma grande quantidade de água, 65 milhões de m³, perdeu quase 30% de sua área ao longo dos seis anos avaliados. Já o reservatório de Pedras Altas apresentou a maior perda percentual desta bacia com quase 50%. Entre os motivos que contribuíram para este cenário, estão possivelmente a somatória de fatores como: localização em região de clima semiárido e geologia cristalina; assim como de eventos de baixa precipitação na sub-bacia ligada a este reservatório.

As áreas de geologia cristalina, muito comuns no Nordeste do Brasil, apresentam baixa porosidade e permeabilidade quando comparadas a regiões de geologia sedimentar, o que acaba dificultando o armazenamento de água subterrânea e formação de uma rede de rios perenes, principalmente em regiões de clima semiárido. Essas características fazem com que as águas superficiais sejam rapidamente levadas aos reservatórios, onde são perdidas, em grande parte, por evaporação direta, afetando a disponibilidade hídrica. Já na dinâmica em locais de estrutura geológica sedimentar, as águas das chuvas abastecem os solos e aquíferos, onde a liberação das águas para as reservas hídricas superficiais é feita paulatinamente, o que diminui a sua exposição à radiação solar e perda por evaporação.

Segundo a ANA (2017), a magnitude das elevadas taxas de evaporação induzidas pela temperatura, com totais anuais superiores a 2.000 mm, pode causar a diminuição da água de lagos, açudes e reservatórios, representando cerca de até 1/3 da vazão média afluente sendo anualmente consumida pela exposição dos espelhos d'água.

No gráfico da figura 10 é possível identificar que, no ano de 2012, houve uma redução dos valores da precipitação média anual sobre as bacias de contribuição dos reservatórios da bacia Itapicuru. Essa redução foi de praticamente a metade dos valores, quando comparado aos do ano anterior, 2011.

Na bacia do rio Paraguaçu, uma importante bacia da mesorregião centro-oeste baiano, foram analisadas as dinâmicas de perda de área dos espelhos d'água de cinco reservatórios (Tabela 4). Considerando a dinâmica de perda de área, a barragem de Apertado apresentou a maior redução, perdendo quase 50% de seu espelho d'água.

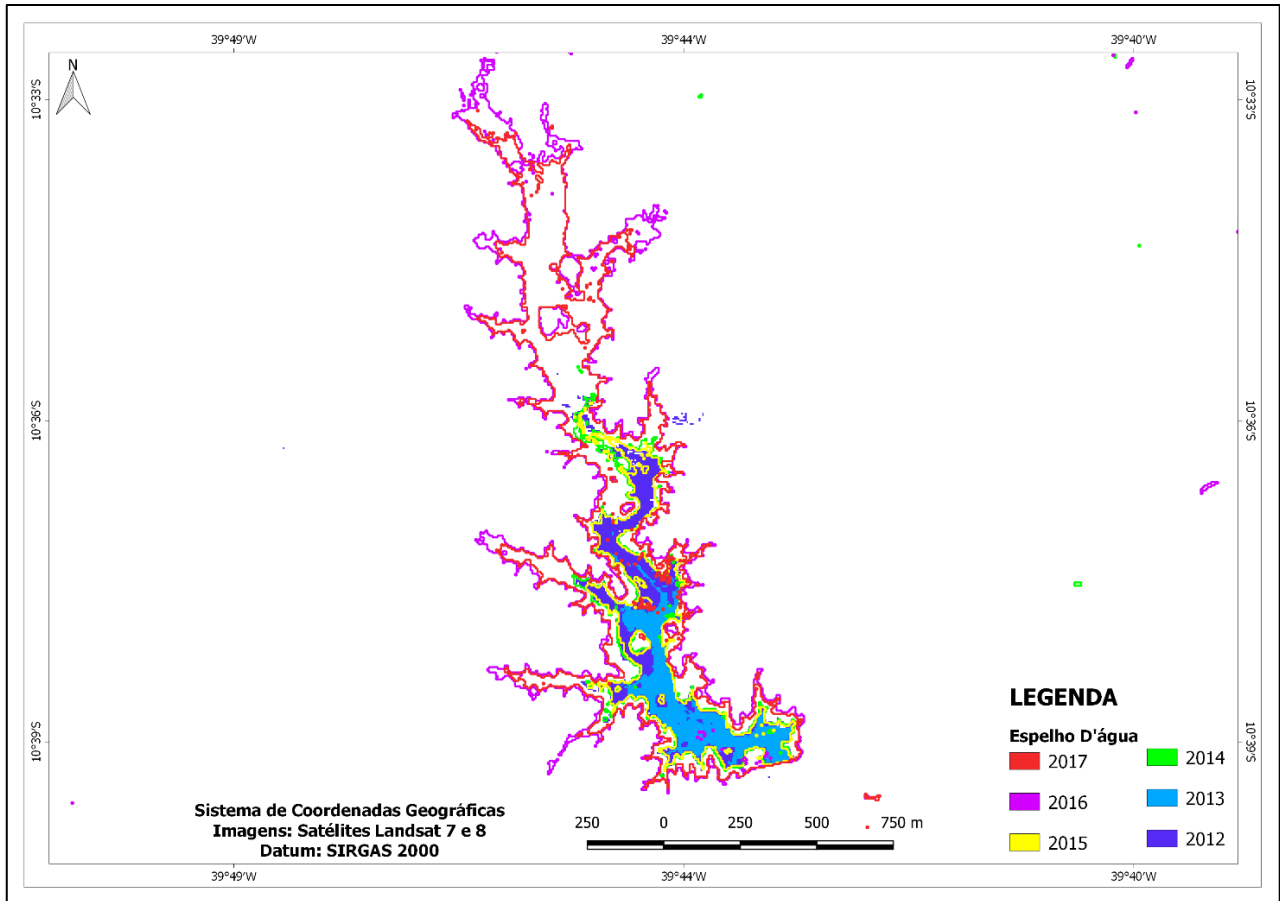


Figura 9 – Dinâmica do espelho d'água do reservatório Rômulo Campos, Bahia.
Fonte: Resultados da pesquisa, 2022.

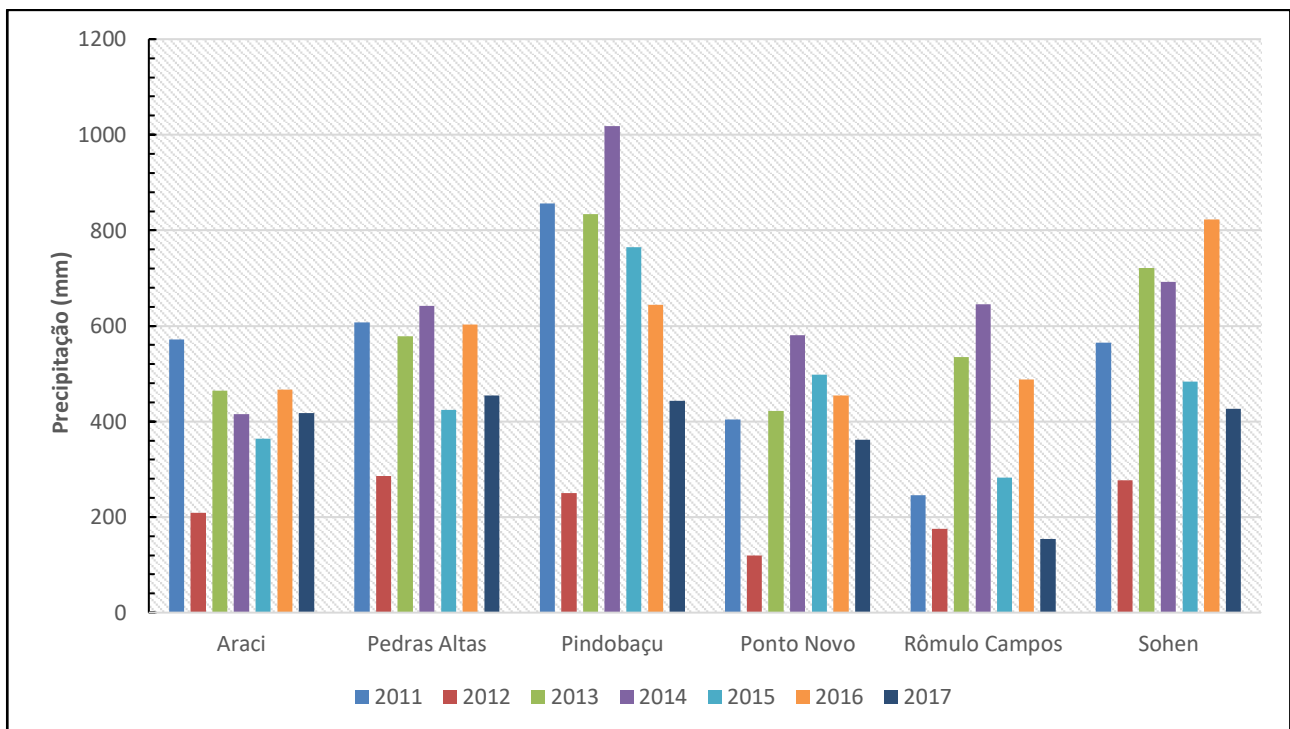


Figura 10 – Precipitação média anual sobre a bacia de contribuição dos reservatórios da bacia Itapicuru no período de 2011 a 2017. **Fonte:** adaptado da ANA, 2022.

Tabela 4: Variação temporal das áreas dos espelhos d'água dos reservatórios da bacia Paraguaçu.

Reservatórios	Capacidade (m³)	Área dos Espelhos D'Água (Km²)						Variação Percentual de Área: (+) Ganho e (-) Perda
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Apertado	108.690.000	7,45	5,84	6,01	6,27	5,78	3,88	- 47,92
Bandeira de Mello	111.590.000	16,44	17,09	18,17	18,20	17,34	17,91	+ 8,94
França	33.170.000	1,28	1,79	1,91	3,44	3,29	2,22	+ 73,44
Pedra do Cavalo	4.630.960.000	105,71	87,84	99,04	101,38	93,86	96,33	- 8,87
São José do Jacuípe	357.000.000	7,83	4,93	4,76	3,81	10,57	7,18	- 8,30

Fonte: Autores.

No contexto geral, apesar do clima semiárido predominar em 67% da bacia (INEMA, 2021), os reservatórios Bandeira de Mello e França aumentaram sua área. Além disso, cabe destacar o baixo percentual de perda de Pedra do Cavalo e S. J Jacuípe (Figura 11).

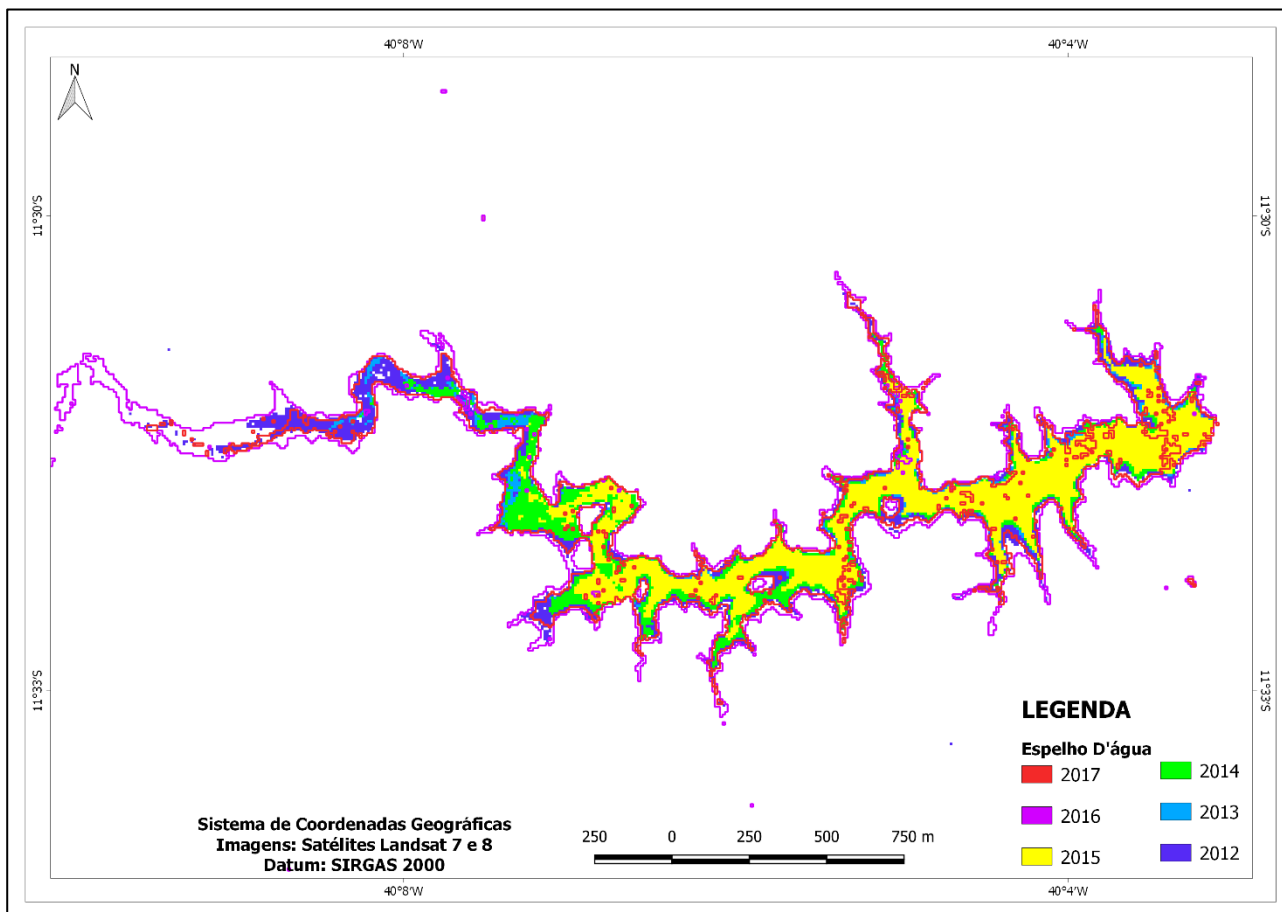


Figura 11 – Dinâmica do espelho d'água do reservatório São José do Jacuípe, Bahia.

Fonte: Resultados da pesquisa, 2022.

Esses comportamentos, podem estar ligados a eventos de influência da variabilidade climática na precipitação acumulada nas sub-bacias desses reservatórios, pois parte delas estão totalmente inseridas em região pluviométrica de clima mais úmido, como o tropical úmido de altitude.

Nessa região, o clima torna-se mais ameno mudando para o tipo semiúmido a úmido, com algumas pequenas áreas na nascente do Rio Paraguaçu apresentando um clima Úmido a Subúmido, onde os totais pluviométricos aumentam, atingindo até 1200 mm (INEMA, 2021). Este compartimento geomorfológico de maior elevação topográfica provoca a ocorrência de chuvas orográficas de forma pontual e exerce influência sobre as regiões hidrográficas sopedônias dos domínios semiáridos circunvizinhos a chapada, afetando diretamente as reservas hídricas superficiais.

Ademais, a localização geográfica dos reservatórios dentro da bacia hidrográfica (alto, médio e baixo curso), podem também explicar as variações de área dos reservatórios que não podem ser elucidadas apenas com base nos dados da precipitação média anual da bacia e dos reservatórios, pois muitas das estações meteorológicas estão localizadas nas áreas circunvizinhas as regiões montanhosas e, por isso, não conseguem registrar as chuvas ocorridas em função do relevo, as chuvas orográficas.

Na figura 12 é possível observar a redução dos valores de precipitação pluviométrica no ano de 2012 para quase todos os reservatórios, quando comparado ao valor da precipitação de 2011. Os demais anos da série (2013 a 2017), apresentaram valores iguais ou maiores aos verificados no ano de 2011 e ajudaram a entender as dinâmicas de área apresentada pelos reservatórios da bacia Paraguaçu.

Nas áreas das bacias mais próximas ao litoral e de clima mais úmido, como na bacia Recôncavo Norte, os reservatórios conseguiram manter o espelho d'água ao longo de todo o período analisado. Porém ainda assim, todos os três reservatórios perderam área, onde a barragem Joanes I apresentou a maior perda, com pouco mais de 55% de área, conforme pode ser visualizado na tabela 5.

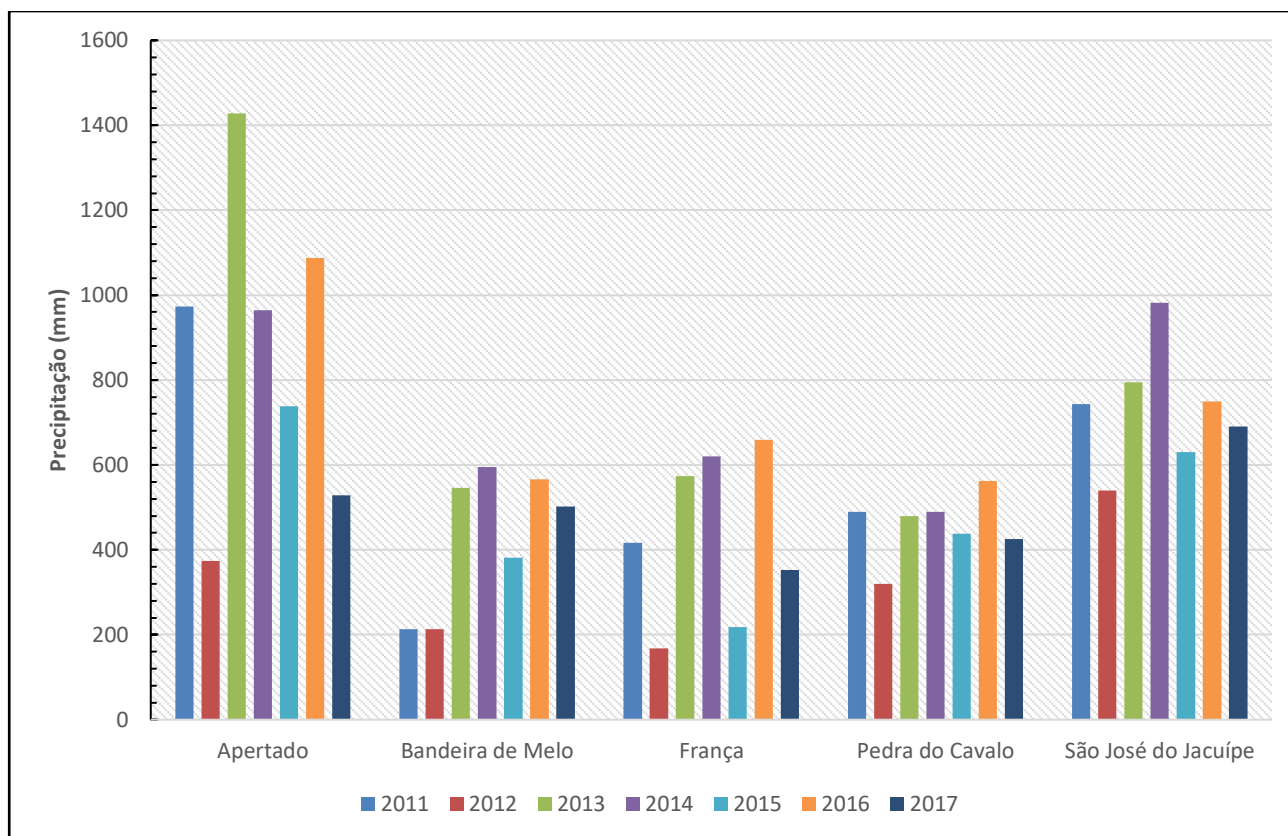


Figura 12 – Precipitação média anual sobre a bacia de contribuição dos reservatórios da bacia Paraguaçu para o período de 2011 a 2017. **Fonte:** adaptado da ANA, 2022.

Tabela 5: Variação temporal das áreas dos espelhos d'água dos reservatórios da bacia Recôncavo Norte.

Reservatórios	Capacidade (m³)	Área dos Espelhos D'Água (Km²)						Variação Percentual de Área: (+) Ganho e (-) Perda
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Joanes I	19.000.000	0,87	0,81	0,42	0,63	0,60	0,39	- 55,17
Joanes II	128.000.000	12,25	11,56	12,00	12,02	7,64	6,63	- 45,88
Santa Helena	241.000.000	22,14	20,82	18,80	19,83	17,01	17,00	- 23,22

Fonte: Autores.

Já os outros reservatórios, apresentaram um percentual de perda de área abaixo de 50%, onde Joanes II perdeu aproximadamente 45% e Santa Helena 23,22% (Figura 13). Nesse contexto de perda, vários são os fatores que podem influenciar nos resultados observados. Assim, para além do clima, fica a cargo da fisiografia local (potencial hidro geológico e geomorfologia), assim como da gestão das águas de sua bacia hidrográfica como, por exemplo, controle de vazão para ações preventivas para garantir a segurança das barragens, a possível explicação para a perda de área verificada.

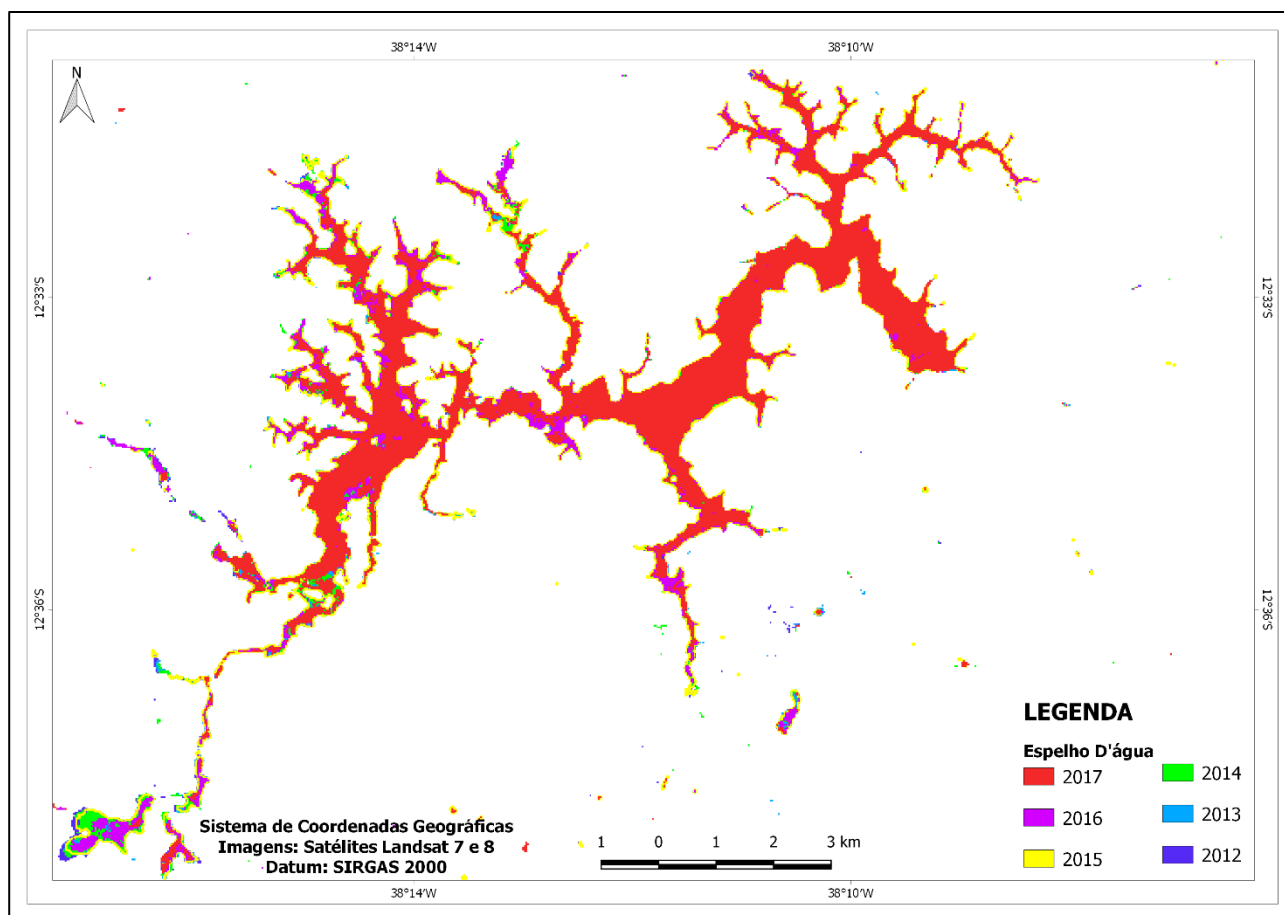


Figura 13 – Dinâmica do espelho d'água do reservatório Santa Helena, Bahia.

Fonte: Resultados da pesquisa, 2022.

No entanto, cabe destacar que nenhum reservatório perdeu completamente seu espelho d'água nos anos observados, mesmo aqueles com baixa capacidade hídrica. O gráfico da precipitação média anual da bacia Recôncavo Norte para o período de 2011 a 2017 (Figura 14), mostra o comportamento temporal da precipitação e pode auxiliar na compreensão do comportamento de ganho e perda de área do espelho d'água dos reservatórios observados.

Por outro lado, é necessário destacar que nem todas as bacias estudadas apresentaram perdas de área em sua totalidade. Ao contrário do que foi observado em outras bacias, os reservatórios da bacia Vaza-Barris apresentaram um aumento de espelho d'água superior ao período de 2012, ano base do mapeamento, conforme pode ser visto na tabela 6.

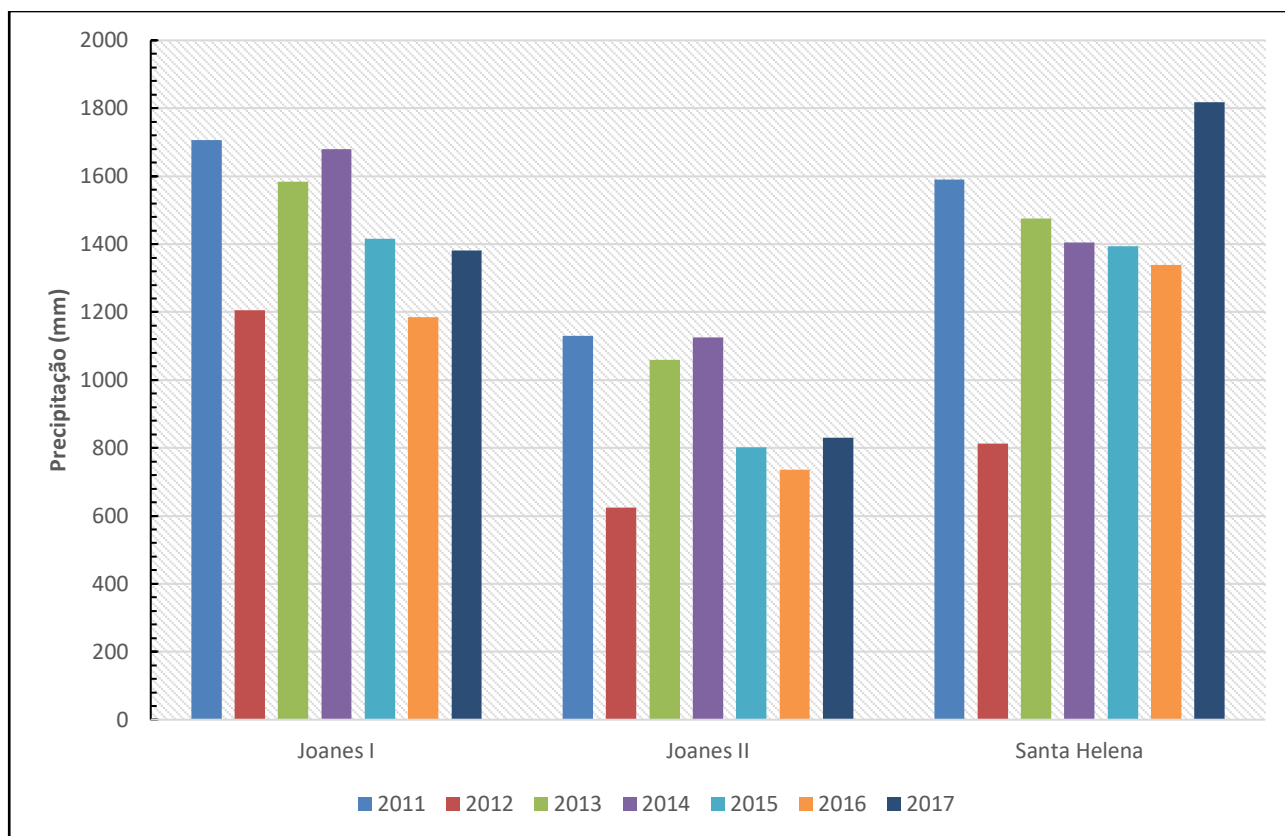


Figura 14 – Precipitação média anual sobre a bacia de contribuição dos reservatórios da bacia Recôncavo Norte para o período de 2011 a 2017. **Fonte:** adaptado da ANA, 2022.

Tabela 6: Variação temporal das áreas dos espelhos d'água dos reservatórios da bacia Vaza-Barris.

Reservatórios	Capacidade (m³)	Área dos Espelhos D'Água (Km²)						Variação Percentual de Área: (+) Ganho e (-) Perda
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Cocorobó	245.376.000	10,41	4,41	11,35	7,80	17,95	12,53	+ 20,37
Gasparino	48.607.945	0,02	1,11	1,86	1,85	2,79	2,42	+ 12.000,00

Fonte: Autores.

Os ganhos de área inundada observados nesses reservatórios revelaram um comportamento diferente do que foi visto para todas as outras bacias, já que apresentaram perdas e tiveram suas áreas reduzidas. Assim, a barragem de Cocorobó (Figura 15) apresentou ganho de área de pouco mais de 20%.

Já a barragem de Gasparino apresentou um ganho bem mais significativo na sua área alagada, obtendo um aumento de 12.000% de sua área em relação ao ano base de 2012. Esse episódio está relacionado à recente construção deste reservatório, que foi concluído no ano de 2012. Dessa forma, não houve tempo o suficiente para que Gasparino atingisse todo o potencial de sua capacidade hídrica.

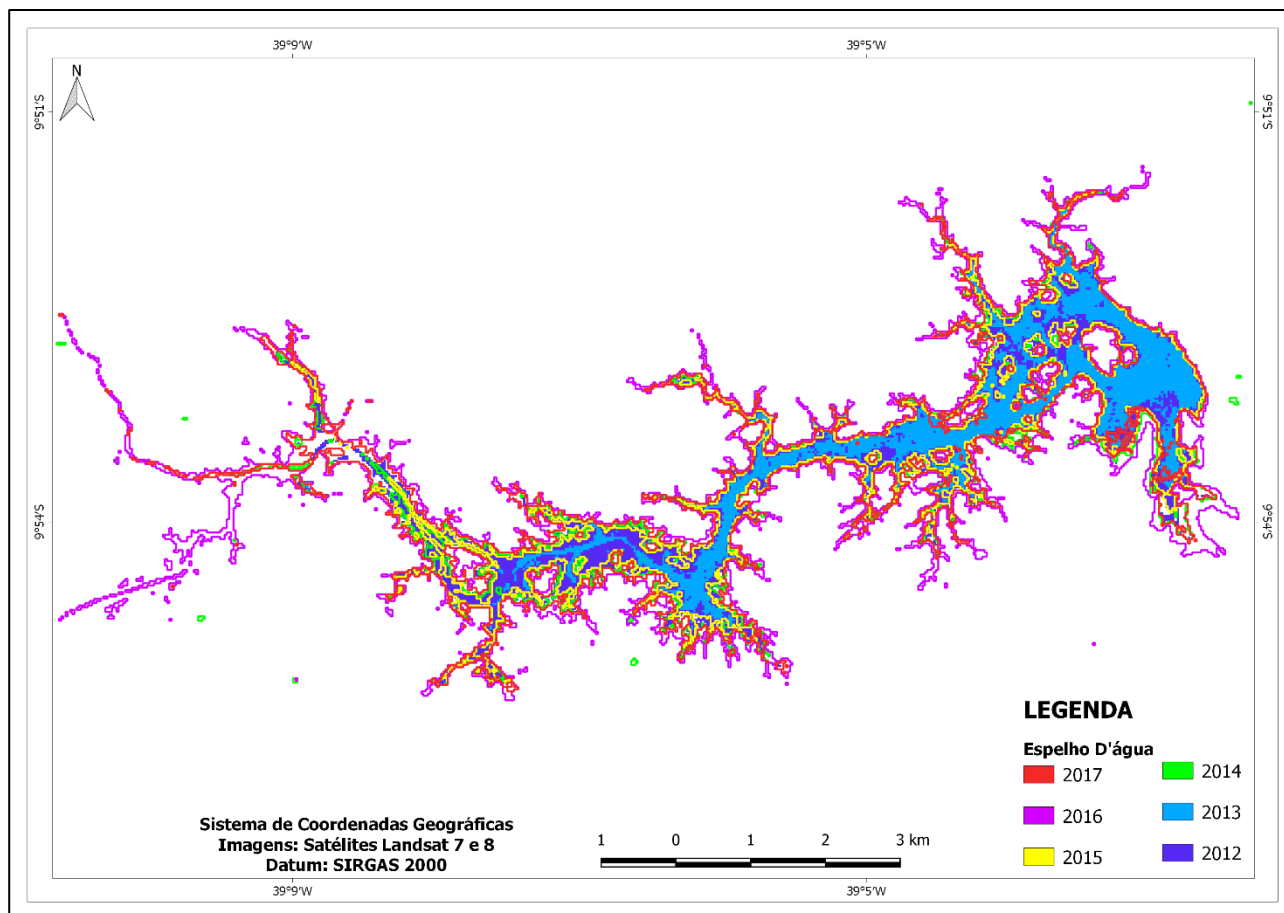


Figura 15 – Dinâmica do espelho d'água do reservatório Cocorobó, Bahia.

Fonte: Resultados da pesquisa, 2022.

Diferentemente dos demais reservatórios que conseguiram converter a precipitação acumulada no ano de 2011 em volume de água nos reservatórios, conforme pode ser observado no gráfico da precipitação média anual sobre a bacia de contribuição dos reservatórios da bacia Vaza-Barris para o período de 2011 a 2017 (Figura 16).

No contexto geral de aumento do espelho d'água, é necessário destacar o reservatório Itapebi, única barragem mapeada na bacia Jequitinhonha (Tabela 7). O reservatório apresentou aumento gradativo de área até o ano de 2016 e, no geral, obteve um aumento de 7% de sua área em relação ao ano base de 2012.

O gráfico da precipitação média anual para o período de 2011 a 2017 sobre a bacia de contribuição do reservatório Itapebi (Figura 17), mostra o comportamento temporal da precipitação e ajuda a entender a dinâmica do espelho d'água do reservatório. Na figura é possível observar uma variabilidade e tendência de queda nos valores de precipitação tendo como referência o ano de 2013, apesar do quadro de crescimento apresentado pelo reservatório Itapebi (Figura 18).

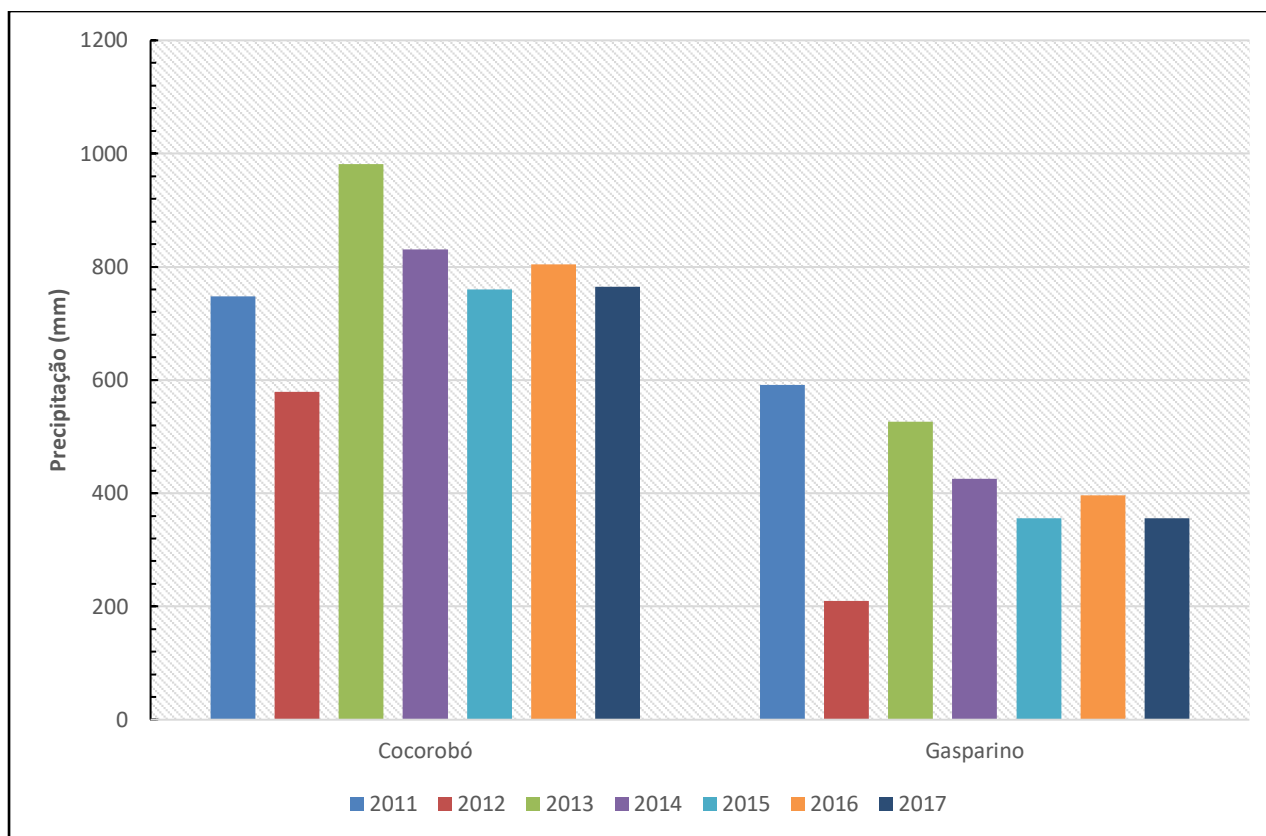


Figura 16 – Precipitação média anual sobre a bacia de contribuição dos reservatórios da bacia Vaza-Barris para o período de 2011 a 2017.

Fonte: adaptado da ANA, 2022.

Tabela 7: Variação temporal das áreas dos espelhos d'água dos reservatórios da bacia Jequitinhonha.

Reservatórios	Capacidade (m³)	Área dos Espelhos D'Água (Km²)						Variação Percentual de Área: (+) Ganho e (-) Perda
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Itapebi	1.633.560.000	50,07	50,78	53,28	51,14	54,17	53,82	+ 7,49

Fonte: Autores.

O gráfico da precipitação média anual para o período de 2011 a 2017 sobre a bacia de contribuição do reservatório Itapebi (Figura 17), mostra o comportamento temporal da precipitação e ajuda a entender a dinâmica do espelho d'água do reservatório. Na figura é possível observar uma variabilidade e tendência de queda nos valores de precipitação tendo como referência o ano de 2013, apesar do quadro de crescimento apresentado pelo reservatório Itapebi (Figura 18).

Essa dinâmica pode estar associada a múltiplos fatores, que podem variar desde as chuvas concentradas nas sub-bacias deste reservatório que não foram registradas pelas estações pluviométricas ou até mesmo mudanças nas demandas hídricas de uso.

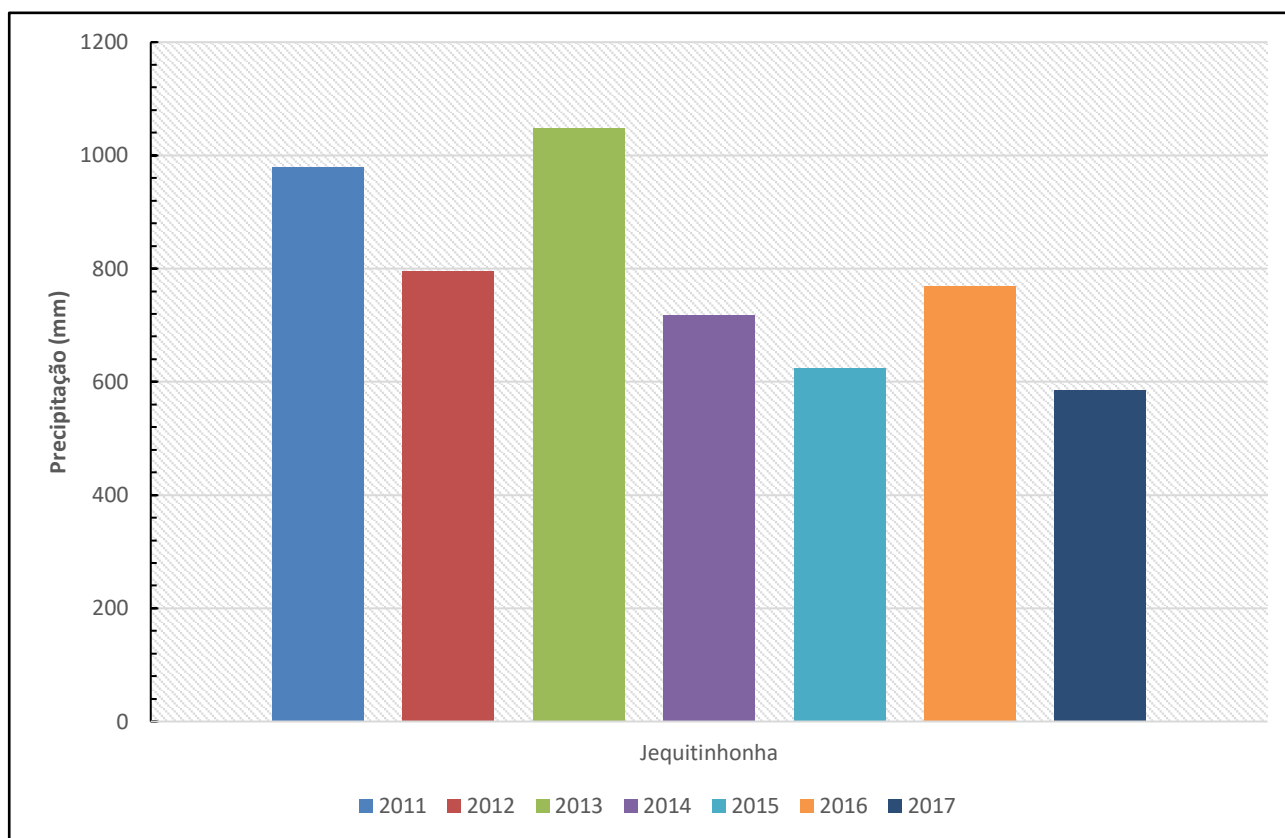


Figura 17 – Precipitação média anual sobre a bacia de contribuição do reservatório Itapebi, na bacia Jequitinhonha para o período de 2011 a 2017. **Fonte:** adaptado da ANA, 2022.

A dinâmica de expansão e redução dos espelhos d'água foram relacionados neste estudo como uma consequência direta aos eventos de precipitações, sejam elas acima ou abaixo da média. Contudo, a somatória de aspectos do clima (evapotranspiração, insolação, maritimidade, altitude etc.), assim como as características hidrogeológicas, hidrológicas, tamanho das áreas de drenagem de cada bacia e formas múltiplas de usos (agricultura, piscicultura, geração de energia elétrica etc.), também podem ter contribuído diretamente para os cenários apresentados.

Além disso, medidas operacionais de controle de vazão para geração de energia elétrica, ações preventivas para garantir a segurança das barragens, alocação de água, restrições de uso, racionamentos ou até mesmo transposição de águas (PEREIRA *et al.*, 2019), produzem efeitos diretos sobre as reservas hídricas superficiais.

Dentro dos aspectos apresentados acima, assim como da diversidade ambiental da Bahia, se torna muito complexo assinalar um único fator responsável pela dinâmica de ganho e perda de área dos espelhos d'água. No entanto, analisando apenas a variabilidade temporal dos valores de precipitação, observados nos gráficos, eles podem ser entendidos como um dos principais motivos, conforme foi sugerido por Medeiros *et al*

(2021), onde observou que os reservatórios da região costeira oriental do Nordeste do Brasil, apesar da precipitação predominantemente negativa em comparação com os dados climatológicos, não foram suficientes para culminar em seca hidrológica, ao contrário dos reservatórios do semiárido que, devido à persistência e severidade das anomalias negativas da precipitação, apresentaram uma queda constante do volume armazenado até atingirem situação crítica (MEDEIROS *et al.*, 2021).

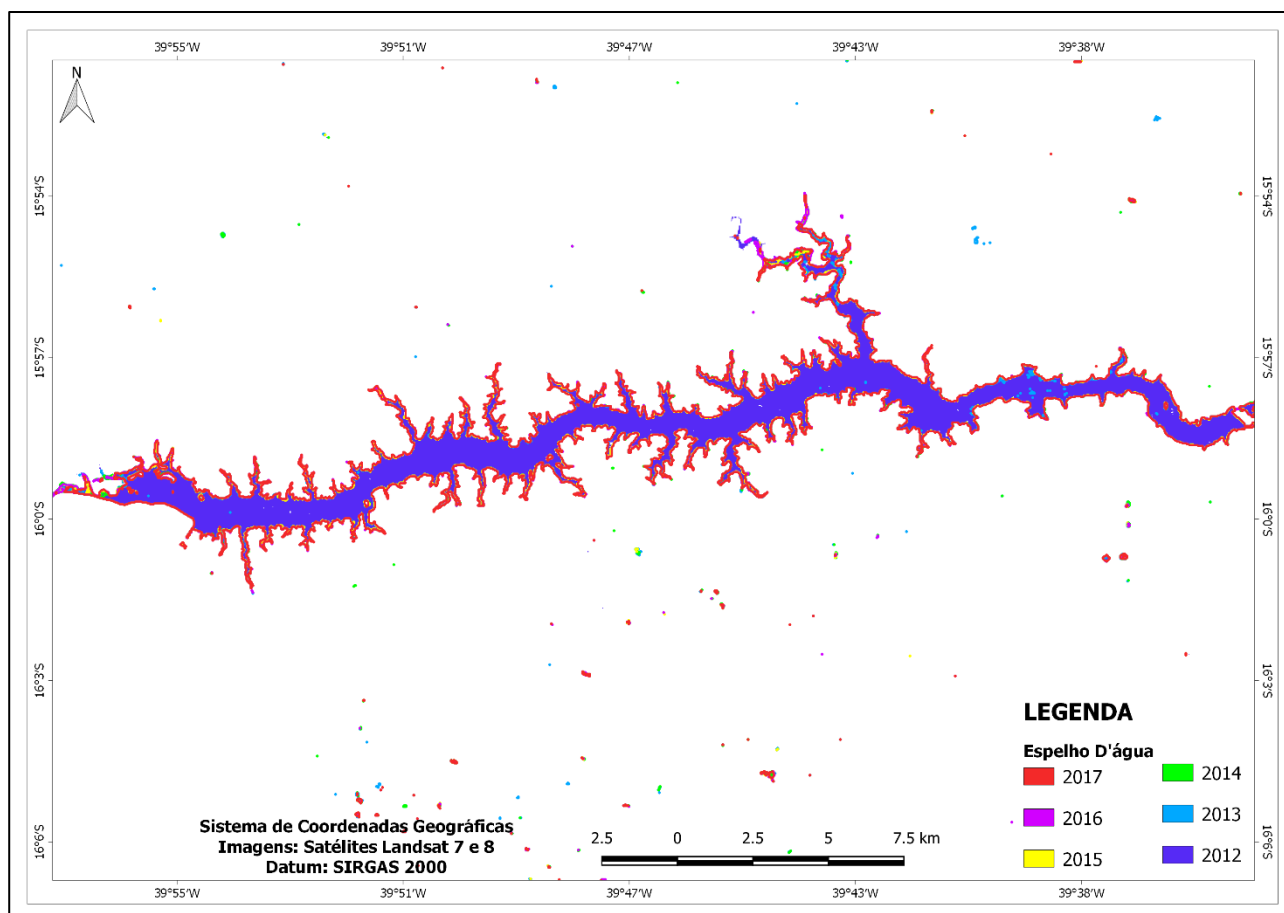


Figura 18 – Dinâmica do espelho d'água do reservatório Itapebi, Bahia.

Fonte: Resultados da pesquisa, 2022.

No tocante aos procedimentos metodológicos, a mesma metodologia foi aplicada em pesquisas recentes para analisar a dinâmica dos espelhos d'água nos principais reservatórios do Rio Grande do Norte (BARBOSA *et al.*, 2019a), Paraíba (BARBOSA *et al.*, 2019b), Ceará (BARBOSA *et al.*, 2021) e Pernambuco (BARBOSA *et al.*, 2022, no prelo), onde também apontaram uma variação significativa das superfícies de água entre os anos de 2012 e 2017, ou seja, a dinâmica de ganho e perda das superfícies de água dos reservatórios desses estados nesse mesmo período.

Apesar do método utilizado para a identificação dos espelhos d'água nesta pesquisa ser relativamente simples e de fácil operação, no contexto geral, as informações

da dinâmica dos espelhos d'água verificadas neste estudo corroboram com os dados de mapeamento das superfícies de água dos reservatórios da Bahia, disponíveis na internet (<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/agua>) pelo Projeto MapBiomas – Mapeamento da Superfície de Água do Brasil, no qual utilizam um método bem mais robusto (<https://mapbiomas.org/metodo-agua>), onde o objetivo é prover dados mensais e anuais de dinâmica de água superficial de corpos hídricos para todo o país desde 1985, e discriminar os corpos hídricos naturais e antrópicos.

Com relação às limitações e possíveis falhas do método utilizado, assim como das técnicas de sensoriamento remoto, algumas dizem respeito a precisão em ajustar o limiar correto entre as assinaturas espectrais das lâminas d'água e as áreas úmidas, com presença ou não de vegetação, para todas as superfícies de água de uma região de grande extensão territorial e diversidade ambiental como o estado da Bahia.

Nesse contexto, outras limitações são bastante conhecidas na literatura ao mapear superfícies de água em grandes áreas por meio de técnicas de sensoriamento remoto. Krause *et al* (2021), ao mapear a dinâmica de corpos aquáticos da Austrália usando Landsat, descreveram limitações como: classificação incorreta de água em sombras profundas, sombras de terrenos íngremes, omissão de corpos d'água muito turvos ou coloridos, corpos d'água com muita vegetação ao seu redor, além das limitações de resolução espacial.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da dinâmica espaço-temporal por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto mostrou-se relevante para a compreensão de como os reservatórios reagiram às variações de precipitações. As mudanças apontadas na dinâmica das águas superficiais, tanto a nível de reservatórios como a nível de bacias em contextos geograficamente distintos, mostraram como as águas dos reservatórios foram afetadas durante o período de 2012 a 2017.

No geral, a influência da variabilidade da precipitação e os impactos de outros fatores reduziram a quantidade de água superficial disponível de modo que dos 34 reservatórios estudados 16 tiveram redução de sua área ao final do período analisado, são eles: Apertado, Araci, Delmiro Golveia IV, Itaparica, Joanes I, Joanes II, Luiz Vieira, Moxotó, Pedra do Cavalo, Pedras Altas, Pindobaçu, Ponto Novo, Santa Helena, São José do Jacuípe, Sobradinho e Zabumbão. Desse montante, cinco reservatórios estão

localizados na bacia do São Francisco, quatro na bacia Itapicuru, três na bacia Paraguaçu, três na bacia Recôncavo Norte e um na bacia Contas.

Em virtude do número elevado de reservatórios existentes na Bahia, a utilização de imagens de satélite é uma excelente ferramenta para a observação, mapeamento e análise da dinâmica dos corpos d'água, assim como para mensurar os efeitos das chuvas nos reservatórios que: abastecem milhões de pessoas, fazem o controle de enchentes, perenizam trechos de rios intermitentes, armazenam água para a produção de energia hidrelétrica e fomentam a economia e agricultura irrigada.

Os resultados deste trabalho podem ter diversos usos potenciais nas políticas e planejamento de abastecimento, auxiliando na tomada de decisão, no gerenciamento das águas e no uso sustentável. Tais informações são extremamente importantes para o planejamento e a gestão ambiental dos recursos hídricos, sob a perspectiva de fomentar políticas de abastecimento e, com isso, ampliar a capacidade de enfrentar problemas relacionados à segurança hídrica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa do Programa de Capacitação Institucional (PCI), assim como ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do COENE pelo fomento à pesquisa. Ademais, dedicamos esse trabalho ao pesquisador XXXX XXXX XXXX (in memoriam), pelas suas valiosas contribuições para este artigo, pelo convívio, pelo seu profissionalismo, em resumo, pela pessoa que ele foi.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas. **Atlas Geográfico de Recursos Hídricos do Brasil**. 2013. Disponível em: <http://portal1.snirh.gov.br/arquivos/atlasrh2013/4-II-TEXT0.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.

_____. Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Programa de Monitoramento da Qualidade das Águas do Estado da Bahia**. 2009. Disponível em: http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/files/wfd_122209579648d7b3b43ddd1--1a_campanha_intro_caracterizacao.pdf. Acesso em: 19 out. 2021.

_____. **Reservatórios do semiárido brasileiro**: hidrologia, balanço hídrico e operação. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 17 jul. 2021.

_____. **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>. Acesso em: ago. 2021.

BARBOSA, A. H. S.; CUELLAR, M. D. Z.; ARRAES, K. A.; MOREIRA, M. M. Sensoriamento remoto aplicado à análise dos espelhos d'água dos principais reservatórios do Rio Grande do Norte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019a, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2019b. p. 867-870.

BARBOSA, A. H. S.; CUELLAR, M. D. Z.; MOREIRA, M. M.; ARRAES, K. A.; SILVA, C. S. P. Mapeamento e Análise dos Espelhos D'água dos Principais Reservatórios da Paraíba por meio de Sensoriamento Remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019b, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu. 2019.

BARBOSA, A. H. S.; CUELLAR, M. D. Z.; MOREIRA, M. M.; ARRAES, K. A.; SILVA, C. S. P. Seis anos de seca: Análise Espaço-temporal dos Espelhos d'água dos Reservatórios do Ceará por Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 14, n. 4, p. 2220-2241, 2021.

BARBOSA, A. H. S.; CUELLAR, M. D. Z.; MOREIRA, M. M.; ARRAES, K. A.; SILVA, C. S. P. Análise da Dinâmica Espaço-Temporal dos Espelhos D'água dos Reservatórios de Pernambuco por meio de Sensoriamento Remoto. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, 2022. No prelo.

BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L.; MARTINS, V. S. **Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: princípios e aplicações**. 1. ed. INPE: São José dos Campos. 2019. 161p.

BARBOSA, F. A. R.; PADISÁK, J.; ESPINDOLA, E. L. G.; BORICS, G.; ROCHA, O. **The cascading Reservoir Continuum Concept (CRCC) and its application to the river Tietê basin**, São Paulo State, Brazil. In: Theoretical Reservoir Ecology, p.425-437, 1999.

CHEN, Y.; FAN, R.; YANG, X.; WANG, J.; LATIF, A. Extraction of Urban Water Bodies from High-Resolution Remote-Sensing Imagery Using Deep Learning. **Water**, v. 10, n. 5, p. 585, 2018.

COOLEY, S.; SMITH, L.; STEPAN, L.; MASCARO, J. Tracking Dynamic Northern Surface Water Changes with High-Frequency Planet CubeSat Imagery. **Remote Sensing**, v. 9, n. 12, p. 1306, 2017.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Mapas de Geodiversidade Estaduais**. 2010. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14707>. Acesso em: 20 jul. 2021.

CUNHA, A. P. M. A.; ZERI, M.; LEAL, K. D.; COSTA, L.; CUARTAS, L. A.; MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M.; BARBOSA, A. A.; CUNNINGHAM, C.; GARCIA, J. V. C.; BROEDEL, E.; ALVALÁ, R.; RIBEIRO-NETO, G. Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. **Atmosphere**, v. 10, n. 11, p. 1-20, 2019.

DU, Y.; ZHANG, Y.; LING, F.; WANG, Q.; LI, W.; LI, X. Water Bodies' Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band. **Remote Sensing**, v. 8, n. 4, p. 354, 2016.

DUAN, Z.; BASTIAANSEN, W. G. M. Estimating water volume variations in lakes and reservoirs from four operational satellite altimetry databases and satellite imagery data. **Remote Sensing of Environment**, v. 134, p. 403-416, 2013.

ELSAHABI, M.; NEGM, A.; TAHAN, A. H. M. H. E. Performances Evaluation of Surface Water Areas Extraction Techniques Using Landsat ETM+ Data: Case Study Aswan High Dam Lake (AHDL). **Procedia Technology**, v. 22, p. 1205-1212, 2016.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 123p.

INEMA - Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Comitês de Bacias**. 2021. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/comites-de-bacias/comites/cbh-itapicuru/>. Acesso em: 19 out. 2021.

KO, B.; KIM, H.; NAM, J. Classification of Potential Water Bodies Using Landsat 8 OLI and a Combination of Two Boosted Random Forest Classifiers. **Sensors**, v. 15, n. 6, p. 13763-13777, 2015.

KRAUSE, C. E.; NEWAY, V.; ALGER, M. J.; LYMBURNER, L. Mapping and Monitoring the Multi-Decadal Dynamics of Australia's Open Waterbodies Using Landsat. **Remote Sensing**, v. 13, n. 8, p. 1437, 2021.

MEDEIROS, F. J.; OLIVEIRA, C. P.; GOMES, R. S.; SILVA, M. L.; CABRAL JÚNIOR, J. B. 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, p. 1-15, 2021.

MOREIRA, M. M. **Mapeamento Geotécnico e Reconhecimento dos Recursos Hídricos e do Saneamento da Área Urbana do Município de Natal-RN**: Subsídios para o Plano Diretor. 2002. 282 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

MOREIRA, M. M.; SOUZA, N. M.; CUELLAR, M. D. Z.; ARRAES, K. A. Caracterização Geológico-Geotécnica e Piezometria do Aquífero Semi-Confinado Barreiras do Município de Natal – RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS/ ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 20/21., 2018, Campinas. **Anais...** Campinas: 2018. P. 1- 4.

MUELLER, N.; LEWIS, A.; ROBERTS, D.; RING, S.; MELROSE, R.; SIXSMITH, J.; LYMBURNER, L.; MCINTYRE, A.; TAN, P.; CURNOW, S.; IP, A. Water observations from space: Mapping surface water from 25 years of Landsat imagery across Australia. **Remote Sensing of Environment**, v. 174, p. 341-352, 2016.

PAREDES-TREJO, F.; BARBOSA, H. A.; GIOVANNETTONE, J.; KUMAR, T. V. L.; THAKUR, M. K.; BURITI, C. O.; UZCÁTEGUI-BRICEÑO, C. Drought Assessment in the São Francisco River Basin Using Satellite-Based and Ground-Based Indices. **Remote Sensing**, v. 13, n. 19, p. 3921, 2021.

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.

PEREIRA, G. R.; SILVA JÚNIOR, M. M.; BARBOSA, A. H. S. Mapeamento dos espelhos d'água de reservatórios da Paraíba: estudo de caso da transposição do Rio São Francisco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19. (SBSR), 2019, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2019. p. 927-930

PERHBA - Plano Estadual de Recursos Hídricos da Bahia. **Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CONERH** - BA, Salvador, 10p. 2005. Disponível em: http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2011/08/PERH_BA.pdf. Acesso em: 2 abr. 2021.

PHAM-DUC, B.; PRIGENT, C.; AIRES, F. Surface Water Monitoring within Cambodia and the Vietnamese Mekong Delta over a Year, with Sentinel-1 SAR Observations. **Water**, v. 9, n. 6, p. 366, 2017.

PICKENS, A. H.; HANSEN, M. C.; HANCHER, M.; STEHMAN, S. V.; TYUKAVINA, A.; POTAPOV, P.; MARROQUIN, B.; SHERANI, Z. Mapping and sampling to characterize global inland water dynamics from 1999 to 2018 with full Landsat time-series. **Remote Sensing of Environment**, v. 243, n. 15, p. 111792, 2020.

POSTEL, S. L.; DAILY, G. C.; EHRLICH, P. R. Human Appropriation of Renewable Fresh Water. **Science**, v. 271, n. 5250, p. 785-788, 1996.

PROJETO MAPBIOMAS – **Mapeamento da Superfície de Água do Brasil Coleção 1**. 2021. Disponível: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/agua>. Acesso em: 26 de set. 2021.

SEI - Superintendência de estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **Informações Geoambientais**. 1998. Disponível em <http://www.sei.ba.gov.br>. Acessado em: 19 de out. 2021.

SOUZA, C.; KIRCHHOFF, F.; OLIVEIRA, B.; RIBEIRO, J.; SALES, M. 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.

TULBURE, M.G., BROICH, M. Spatiotemporal dynamic of surface water bodies using Landsat time-series data from 1999 to 2011. **Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 79, p. 44-52, 2013.

TULBURE, M.G., BROICH, M. Spatiotemporal patterns and effects of climate and land use on surface water extent dynamics in a dryland region with three decades of Landsat satellite data. **Science of The Total Environment**, v. 658, p. 1574-1585, 2019.

XU, H.; XU, G.; WEN, X.; HU, X.; WANG, Y. Lockdown effects on total suspended solids concentrations in the Lower Min River (China) during COVID-19 using time-series remote sensing images. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 98, p. 102301, 2021.

YAN, W.; SHAKER, A.; LAROCQUE, P. Scan Line Intensity-Elevation Ratio (SLIER): An Airborne LiDAR Ratio Index for Automatic Water Surface Mapping. **Remote Sensing**, v. 11, n. 7, p. 814, 2019.

Recebido: 03.12.2021
Aceito: 30.06.2022