



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DOUGLAS TIBURCIO PROCÓPIO

**BASES DE DADOS DE MÁSCARAS DE ÁGUA PARA
DETERMINAÇÃO DA SUPERFÍCIE INUNDADA NO
NORDESTE**

DOUGLAS TIBURCIO PROCÓPIO

**BASES DE DADOS DE MÁSCARAS DE ÁGUA PARA DETERMINAÇÃO DA
SUPERFÍCIE INUNDADA NO NORDESTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à
Universidade Federal de Pernambuco como parte
dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Ribeiro Neto

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Procópio, Douglas Tiburcio.

Bases de dados de máscaras de água para determinação da superfície
inundada no Nordeste / Douglas Tiburcio Procópio. - Recife, 2025.
45 : il., tab.

Orientador(a): Alfredo Ribeiro Neto

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Civil -
Bacharelado, 2025.

Inclui referências.

1. Sensoriamento. 2. Nordeste. 3. Bases de dados. 4. GSW. 5. MapBiomas.
I. Neto, Alfredo Ribeiro. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

CANDIDATO(S): 1 – Douglas Tiburcio Procópio

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: Alfredo Ribeiro Neto

Examinador 1: Leidjane Maria Maciel de Oliveira

Examinador 2: Jonas Felipe Santos de Souza

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

BASES DE DADOS DE MÁSCARAS DE ÁGUA PARA DETERMINAÇÃO DA SUPERFÍCIE INUNDADA NO NORDESTE

LOCAL: RECIFE - PE

DATA: 08/09/2025 **HORÁRIO DE INÍCIO:** 8:30.

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o candidato foi arguido oralmente pelos membros da banca com NOTA: 9,1.

1) (x) aprovado(s) (nota $\geq 7,0$), pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito.

As revisões observadas pela banca examinadora deverão ser corrigidas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

O trabalho com nota no seguinte intervalo, **3,0 $\leq$ nota $<$ 7,0**, será reapresentado, gerando-se uma nota ata; sendo o trabalho aprovado na reapresentação, o aluno será considerado **aprovado com exame final**.

2) () reprovado(s). (nota $< 3,0$)

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, 08 de setembro de 2025

Orientador:

Avaliador 1:

Avaliador 2:

Candidato 1:

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, meu socorro bem presente nos momentos mais difíceis, livrando de toda mal e trouxe regozijo a minha caminhada.

Aos meus pais, por serem suporte em todos os momentos, me incentivando, cobrando e aconselhando no decorrer dessa jornada. Evaldo, meu pai, que proveu além de tudo, transporte nos dias que precisei. Minha mãe, Célia, que com todo amor sempre cuidou de mim. A ambos pela diversas orações que em secreto intercederam por mim.

A minha esposa, Ana Aline, sem a qual eu não teria chegado aqui, companheira das noites de estudo e acalento nas adversidades. A Anna Clara, minha filha, me trouxe imensa alegria e forças na busca dessa conclusão, meu eterno amor.

Aos meus irmãos que sempre estiveram ao meu lado, Deivid, Diogo, Francisco e Manoel, obrigado por todas as conversas, resenhas, incentivos e caronas, vocês foram essenciais nessa jornada.

Ao professor Dr. Alfredo Ribeiro Neto, pela parceria em todos esses anos, tanto nos anos de inicial científica como na conclusão deste trabalho, obrigado por todo aprendizado e oportunidades que me concedeu, minha imensa gratidão.

A todos os colegas que fiz durante essa passagem, em especial, aos meus amigos Dimas e Pedro, os quais as resenhas do dia a dia foram motores na conclusão dessa jornada. Assim, como aos professores que dedicaram seu tempo na minha formação, meu muito obrigado.

Aos mestrandos e doutorandos Marina de Paula Moura, Jonas Felipe Santos de Souza e em especial a Mayara Silva de Oliveira por todos apoio e ensinamentos, agradeço por terem compartilhado do seu conhecimento.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar e comparar duas bases de dados geoespaciais — o *Global Surface Water* (GSW) e o *MapBiomias Água* — na determinação de áreas inundadas no Nordeste brasileiro, região marcada por escassez hídrica e grande dependência de reservatórios. Utilizando ferramentas de sensoriamento remoto, como o Google Earth Engine (GEE), foram obtidas máscaras de água retiradas das bases para 17 sub bacias hidrográficas da região. A área superficial de água foi calculada mensalmente (GSW) e anualmente (MapBiomias), permitindo uma análise espaço-temporal da dinâmica hídrica de 1984 a 2023. Os resultados mostraram diferenças significativas entre as bases, com variações superiores a 1000% em alguns casos, especialmente em períodos anteriores aos anos 2000. As divergências podem ser atribuídas à qualidade das imagens e metodologia de classificação das bases. Ainda assim, ambas demonstraram potencial para auxiliar o monitoramento de corpos hídricos e a gestão de recursos hídricos no nordeste brasileiro. Contudo, destaca-se que a resolução temporal anual do MapBiomias limita a análise sazonal da dinâmica hídrica, quando se trata de imagens com fácil acesso, tornando o GSW mais apropriado para monitoramento de curto prazo. Uma segunda etapa foi a verificação do uso da base do GSW no monitoramento dos reservatórios de Pernambuco, o qual não obteve bons resultados ao retornar valores subestimados de área. O estudo reforça a importância da utilização integrada de diferentes fontes de dados para aprimorar a gestão de água em regiões vulneráveis às mudanças climáticas.

Palavras-chaves: Sensoriamento, Nordeste, Bases de dados, GSW, MapBiomias

ABSTRACT

This study aims to evaluate and compare two geospatial databases—Global Surface Water (GSW) and MapBiomas Água—in determining flooded areas in Northeast Brazil, a region characterized by water scarcity and heavy dependence on reservoirs. Using remote sensing tools such as Google Earth Engine (GEE), water masks were obtained from the databases for 17 sub-basins in the region. The surface water area was calculated monthly (GSW) and annually (MapBiomas), enabling a spatiotemporal analysis of water dynamics from 1984 to 2023. The results showed significant differences between the databases, with variations exceeding 1000% in some cases, especially in periods prior to the 2000s. These differences can be attributed to the quality of the images and the databases' classification methodology. Nevertheless, both demonstrated potential to aid in the monitoring of water bodies and water resource management in Northeast Brazil. However, it is worth noting that MapBiomas annual temporal resolution limits the seasonal analysis of water dynamics when it comes to easily accessible images, making GSW more appropriate for short-term monitoring. A second step was to verify the use of the GSW database in monitoring reservoirs in Pernambuco, which did not yield good results, returning underestimated area values. The study reinforces the importance of the integrated use of different data sources to improve water management in regions vulnerable to climate change.

Keywords: Sensing, Northeast, Databases, GSW, MapBiomas

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma reduzido das etapas da metodologia	17
Figura 2: Discretização das sub bacias utilizadas no estudo.	18
Figura 3 - Biomas da área de estudo.....	18
Figura 4 - Reservatórios Estudados	24
Figura 5 – Massas de água referentes a julho/2019 sobreposta à área de estudo	25
Figura 6 – Exemplo de extensão de água pelo GSW no reservatório Pirapama	26
Figura 7 - Área superficial ao longo do tempo RH-01, RH-02 e RH-03 para os dados do GSW	27
Figura 8 - Área superficial ao longo do tempo RH-04 RH-05 e RH-06 para os dados do GSW	27
Figura 9 - Área superficial ao longo do tempo RH-07 RH-08 e RH-09 para os dados do GSW	28
Figura 10 - Área superficial ao longo do tempo RH-10 RH-11 e RH-12 para os dados do GSW	28
Figura 11 - Área superficial ao longo do tempo RH-13 RH-14 e RH-15 para os dados do GSW	29
Figura 12 - Área superficial ao longo do tempo RH-16 e RH-17 para os dados do GSW.....	29
Figura 13 - Resultado das médias anuais por regiões hidrográficas para os dados mensais do GSW	30
Figura 14 – Massas de água obtidas do MapBiomas para o ano de 2023	31
Figura 15 - Exemplo de extensão de água pelo MapBiomas no reservatório Pirapama	31
Figura 16 - Área superficial ao longo do tempo RH-01, RH-02 e RH-03 para os dados do Mapbiomas	32
Figura 17 - Área superficial ao longo do tempo RH-04, RH-05 e RH-06 para os dados do Mapbiomas	33
Figura 18 - Área superficial ao longo do tempo RH-07, RH-08 e RH-09 para os dados do Mapbiomas	33
Figura 19 - Área superficial ao longo do tempo RH-10, RH-11 e RH-12 para os dados do Mapbiomas	34
Figura 20 - Área superficial ao longo do tempo RH-13, RH-14 e RH-15 para os dados do Mapbiomas	34
Figura 21 - Área superficial ao longo do tempo RH-16, RH-17 para os dados do Mapbiomas	35
Figura 22 - Variação percentual da Área: GSW x Mapbiomas	37
Figura 23 - Curva Volume x Tempo - Utinga	38
Figura 24 - Curva Volume x Tempo - Serrinha II.....	38
Figura 25 - Curva Volume x Tempo - Pirapama	39
Figura 26 - Curva Volume x Tempo – Poço da Cruz.....	39
Figura 27 - Curva Volume x Tempo – Chapeú	39
Figura 28 - Curva Volume x Tempo - Bonitinho	40
Figura 29 - Curva Volume x Tempo – Bitá.....	40
Figura 30 - Curva Volume x Tempo – Sicupema.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características fisiográficas das regiões hidrográficas na área de estudo	19
Tabela 2 - Características dos Reservatórios	23
Tabela 3 - Variação percentual da Área no intervalo de 5 anos (GSWxMapbiomas).....	36
Tabela 4 – Coeficientes encontrados para os reservatórios	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	09
1.1	Justificativa e motivação.....	10
1.2	Objetivos gerais e específicos.	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	O sensoriamento remoto	12
2.1.1	Espelhos de água	13
2.1.2	Missão Landsat.....	14
2.2	Armazenamento de água total continental (TWS)	15
2.3	Curvas Área x Volume	15
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1	Área de estudo	17
3.1.1	Estudos no Nordeste	19
3.2	Obtenção dos produtos das bases de dados	20
3.1.1	<i>A Global Surface Water</i>	21
3.1.1.1	Mapbiomas	21
3.3	Reservatórios	23
4	RESULTADOS	25
4.1	Áreas superficiais pelo GSW	25
4.2	Áreas superficiais pelo MapBiomas	30
4.3	Comparação entre as bases	35
4.4	Monitoramento de reservatório	37
5	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

As evidências científicas indicam que a mudança do clima causada pelo homem já vem ocasionando muitos extremos climáticos em todas as regiões do planeta resultando impactos negativos generalizados, com perdas e danos relacionados à natureza e às pessoas (IPCC, 2023). Entre esses efeitos, destaca-se o aumento na frequência e intensidade de chuvas extremas, o que eleva a probabilidade de inundações, especialmente em áreas costeiras e regiões de baixa altitude. Projeções indicam que a intensificação desses eventos tende a ampliar a ocorrência de alagamentos provocados por precipitações intensas (IPCC, 2023).

A estreita relação entre a disponibilidade de água e o desenvolvimento humano torna fundamental o monitoramento e a gestão adequada dos recursos hídricos (Crioni, 2024). Esse cuidado é ainda mais relevante em ambientes áridos e semiáridos, onde compreender a distribuição espacial e temporal das reservas hídricas superficiais é essencial tanto em escala local quanto regional (Tulbure e Broich, 2019).

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), criada em 1997, estabelece que, em situações de escassez, o abastecimento humano e a dessedentação animal têm prioridade, além de definir diretrizes para o uso múltiplo da água quando disponível. Para operacionalizar essa política, foi instituída em 2000 a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), responsável por implementar as ações e regular o abastecimento. A ANA mantém um sistema de acompanhamento dos volumes armazenados nos reservatórios com base em informações fornecidas por órgãos estaduais, mas ainda não dispõe de um monitoramento sistemático da superfície dos corpos d'água e de áreas irrigadas por meio de imagens de satélite (Pereira, 2019).

A medição da variação das áreas alagadas pode fornecer informações valiosas para o gerenciamento do abastecimento humano e para estimar a demanda da agricultura irrigada (Pereira, 2019). No estado do Ceará, por exemplo, a cobrança pelo uso da água considera o volume consumido e o tipo de uso, sendo necessário identificar a localização de usuários em extensas áreas para calcular o consumo (Pereira, 2019). Nesse contexto, o sensoriamento remoto é uma ferramenta estratégica para apoiar a gestão do uso múltiplo da água (Pereira, 2019).

Dados do projeto MapBiomias indicam que, entre 1990 e 2020, a superfície de água no Brasil sofreu uma redução de aproximadamente 15,7%. Essa diminuição foi registrada em todos os biomas e regiões hidrográficas, afetando 23 das 27 unidades da federação. Além disso, oito das doze regiões hidrográficas estabelecidas pela ANA apresentam tendência contínua de

redução nas áreas alagadas (MapBiomias, 2021).

Estudos que avaliam grandes áreas de bacias hidrográficas fornecem subsídios importantes para o monitoramento de recursos naturais, permitindo gerar indicadores e parâmetros que apoiam ações de mitigação e planejamento ambiental (Menezes, 2021).

1.1 Justificativa e motivação

A água é um recurso natural essencial para a economia de qualquer território nacional. É um insumo importantíssimo para a sobrevivência humana e dos animais, e para produção agrícola. O sensoriamento remoto tem se colocado como um importante aliado no levantamento dos eventos extremos e de monitoramento dos recursos hídricos.

Neste estudo, serão utilizados dois conjuntos de dados, o *Global Surface Water* e o Mapbiomas, este com enfoque na coleção 3 (aqua), ambas as bases fornecem as delimitações das áreas superficiais de água, inclusive com uso de uma interface pelo Mapbiomas, facilitando o acesso aos dados disponíveis com filtros, por exemplo, por bacias.

Devido ao grande volume de água armazenada em reservatórios artificiais, as alternativas de monitoramento dessas massas de águas tornam-se bem relevantes se torna bem relevante alternativas de monitoramento dessas massas de águas, principalmente uma maneira de estimar os volumes armazenados (Costa, 2019). Desse modo se torna vital a avaliação de alternativas para o monitoramento dos recursos disponíveis, principalmente na região do Nordeste a qual passa por períodos de estiagem consideráveis, bastante extensas na região do semiárido.

1.2 Objetivos gerais e específicos

Diante desse cenário, este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo promover o monitoramento das áreas de superfície de água na região Nordeste do Brasil por meio do uso de sensoriamento remoto. Para isso, serão utilizadas duas bases de dados: o programa *Copernicus Global Surface Water* e o MapBiomias, iniciativa colaborativa que reúne organizações não governamentais, universidades e empresas de tecnologia, estruturada por biomas e temas transversais.

O objetivo geral do trabalho é avaliar o uso das duas bases de dados para o monitoramento de massas de água no Nordeste. Tendo os objetivos específicos:

- a) Obter máscaras de água junto às bases do GSW e Mapbiomas;
- b) Determinar as de superfícies de água nas sub bacias do Nordeste brasileiro;

- c) Interpretar e comparar os resultados obtidos nas determinações;
- d) Validar para o monitoramento de áreas inundadas;
- e) Verificar uso do GSW no monitoramento de reservatórios.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No referencial teórico, foram abordados os assuntos que servirão de referência para elaboração dos resultados e conclusão.

2.1 Sensoriamento remoto

Segundo Colwell (1983), Sensoriamento Remoto pode ser definido como a medição ou aquisição de informação de alguma propriedade de um objeto ou fenômeno, por um dispositivo de registro que não esteja em contato físico ou íntimo com o objeto ou fenômeno em estudo. É perceptível a evolução das ferramentas do Sensoriamento Remoto. As primeiras coletas de dados foram originalmente feitas usando câmeras montadas em aeronaves suborbitais.

Atualmente tem aumentado consideravelmente o número de satélites com sensores a bordo que geram um produto de Sensoriamento Remoto (Moura, 2021), permitindo assim maior facilidade a um número extraordinário de imagens com alta resolução temporal e espacial (Souza, 2024).

Segundo Souza (2024), os sensores geralmente podem ser separados em duas categorias quanto ao objetivo de medição de água superficial: o sensor óptico e o sensor de radar de abertura sintética (SAR – do inglês *Synthetic Aperture Radar*).

De acordo com Menezes (2021), o uso do Sensoriamento Remoto se mostra de grande valia para o monitoramento espaço-temporal de reservatórios de grande porte e importância para atividades antrópicas como o reservatório de Sobradinho no rio São Francisco. Apresenta-se como uma poderosa ferramenta para monitorar a dinâmica de ocupação pela rápida execução e aquisição de dados, e pelo menor custo atrelado ao processo se comparado aos métodos com observação *in loco* (Becker et al. 2019). Desempenhado um papel importante no estudo de ambientes aquáticos incluindo monitoramento, estimativa de volume armazenado, avaliação de qualidade da água e zonas costeiras (Xie, et al. 2016).

O Sensoriamento Remoto tem se mostrado uma tecnologia importante, firmando-se como uma eficiente ferramenta para o monitoramento, controle e análise de recursos naturais em geral, pois têm a capacidade de fazer a coleta de dados da superfície e também da dinâmica da paisagem, sem perturbar o ambiente (Florenzano, 2002). Além disso, ainda é capaz de analisar extensas áreas em menor tempo e com menor custo (Barbosa et al. 2019). Assim, os produtos do sensoriamento remoto têm apresentado grandes aplicabilidades para o monitoramento e gestão dos recursos hídricos (Barbosa et al. 2019).

2.1.1 Espelhos de água

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

Segundo Souza (2024), a extração de informações por meio de uma imagem é baseada na capacidade de um objeto refletir a energia radiante dentro de um determinado espectro. Após definição do espectro da água, é possível o uso dos limites dos corpos de água superficial para mapear áreas com água corretamente.

Existem duas categorias que podem dividir a maioria dos métodos automáticos de detecção de água, a segmentação de limiar e a classificação de imagem. A segmentação consiste em usar observações de sensores ópticos a fim de construir modelos de classificação e índices de água/vegetação (Tulbure et.al 2016 2024). A classificação de imagens também faz uso das observações dos sensores SAR, utilizando o conhecimento do espectro, da textura e das características espaciais para extrair informações dos corpos d'água (Souza, 2024).

De acordo com Menezes (2021), que realizou estudo sobre o uso de sensoriamento remoto na análise de espelho d'água no reservatório de Sobradinho entre os anos de 2017 e 2020, constatou-se uma variação condizente com o aumento de precipitação pluviométrica, influenciando no volume do reservatório e consequentemente na área ocupada pelo corpo hídrico. No estudo, foram utilizadas imagens do satélite Landsat-8, com o uso dos índices espectrais NDWI e MNDWI, tendo este último se destacado nos resultados encontrados.

O monitoramento de águas superficiais está em constante evolução, novos satélites estão sendo lançados, como é o caso do SWOT (*Surface Water Ocean Topography*), que permite monitorar a superfície de quase toda Água doce superficial do planeta, sendo capaz de gerar imagens detalhadas de parte dos rios menores e de difícil acesso, assim como lagos e planícies de inundação (SGB, 2024).

Desde o desenvolvimento do primeiro conjunto abrangente de dados abertos sobre corpos d'água – o *Global Lakes and Wetlands Database* (GLWD), de Lehner e Döll (2004), que mapeou corpos d'água perenes com área $\geq 0,1 \text{ km}^2$ –, a disponibilidade de dados hidrológicos tem se ampliado significativamente. No entanto, mesmo com o avanço representado pelo GLWD à época, sua cobertura corresponde a apenas 40% das estimativas globais mais recentes (Pekel et al., 2016; Rajib et al., 2024).

Segundo Rajib et al. (2024), desde a criação do GLWD houve uma verdadeira revolução impulsionada pelo *Big Data*, que expandiu consideravelmente a capacidade de observações da

Terra e a aplicação de ferramentas de geoinformação. Com isso, os mapeamentos baseados em *Global Surface Water Extent* (GSWE) tornaram-se mais comuns (Brown et al., 2022; Pickens et al., 2020; Rajib et al., 2024). Ainda que esses conjuntos de dados compartilhem diversas semelhanças, entre elas a origem dos dados e os períodos de cobertura, há inconsistências significativas entre eles. Essas diferenças nas estimativas das áreas superficiais d'água podem afetar diretamente os resultados de pesquisas, a gestão dos recursos hídricos e a formulação de políticas públicas.

2.1.2 Missão Landsat

Ambas bases de dados analisadas nesse estudo utilizaram como ponto de partida as imagens ópticas da missão Landsat, especificamente os satélites Landsat 05, 07 e 08, diferenciando nos métodos de obtenção dos *pixels* de “água” e “não água” (Pekel et al., 2016; Ferreira et al., 2023).

A missão Landsat teve início na segunda metade da década de 1960, a partir de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial dos Estados Unidos (NASA) e dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. Inicialmente foi intitulada de *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS) e em 1975 passou a ser conhecida como Landsat (Embrapa, 2025).

Os satélites Landsat 01 (lançado em 1972), Landsat 02 (lançado em 1975) e Landsat 03 (lançado em 1978) foram considerados satélites experimentais, cada um levou dois instrumentos a bordo: as câmeras RBV (*Return Beam Vidicon*) e MSS (*Multispectral Scanner System*). Tendo o Landsat 02 sido idêntico ao seu antecessor e o Landsat 03 tido pequenas alterações, principalmente em relação aos canais oferecidos (Embrapa, 2025).

Tanto o Landsat 04 como o Landsat 05 operaram com o MSS e com o sensor TM (*Thematic Mapper*), tendo esse atingido a marca de 28 anos de operação, enquanto o MSS deixou de operar por um período. O Landsat 06 foi projetado com o sensor ETM (*Enhanced Thematic Mapper*), com configurações semelhantes ao Landsat 05, tendo como inovação a inclusão da banda 8 pancromática com 15 metros de resolução espacial, entretanto o Landsat 06 não conseguiu orbitar por falha no lançamento (Embrapa, 2025).

O sétimo satélite da missão contou com uma evolução do sensor ETM, presente no Landsat 06, para o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), lançado em 1999. Responsável por ampliar as possibilidades de uso dos produtos Landsat, melhorou a acurácia do sistema, mantendo os intervalos espectrais, ampliou a resolução espacial da banda 05 (infravermelho termal) para 60 metros, além de tornar a banda pancromática operante e permitir a geração de composições com 15 metros de resolução (Embrapa, 2025).

O último lançamento da missão foi o Landsat 08, que segundo Costa (2019) transporta os instrumentos OLI (*Operational Land Imager*), que apresenta aprimoramento de instrumentos em relação aos satélites anteriores ao adicionar duas bandas espectrais: um canal visível azul profundo (banda 1) projetado para pesquisas de recursos hídricos e zonas costeiras, e um novo canal infravermelho de ondas curtas, para detecção de nuvens cirros e o TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), que coleta duas bandas espectrais de 100 metros, processadas e disponibilizadas em 30 metros (USGS, 2013).

2.2 Armazenamento total de água continental (TWS)

De acordo com Oliveira (2023), podemos definir o armazenameno de água continental (TWS) como a soma de toda àgua armazenada acima e abaixo da superfície da terra, compreendendo as águas superficiais, umidade do solo, águas subterrâneas, água armazenada na vegetação, gelo e neve (Syed et al., 2008; Girotto; Roddel, 2019). Segundo GUEDES et al. (2013) o TWS é um importante componente do ciclo hidrológico terrestre, pois ele integra os efeitos da variabilidade da precipitação em escalas relativamente grandes de espaço e tempo.

As águas superficiais são compreendidas como os rios, massas d'água interiores (naturais e artificiais), zonas úmidas e planícies aluviais inundadas. Sendo fundamentais para o abastecimento humano, produção agrícola e geração de energia em diversas regiões dos trópicos. Afetando diretamente os processos hidrometeorológicos e biogeoquímicos (Girotto; Rodell, 2019). Assim, as águas superficiais são parte considerável do TWS nas áreas tropicais da América, África e Ásia, assim como em rios que cortam regiões áridas, como os rios Tigre-Eufrates, no Iraque e os rios Nilo e Níger, no Saara, além do rio São Francisco, no Nordeste brasileiro (Oliveira, 2023).

2.3 Curvas Cota-Área-Volume

As curvas cota-área-volume (CAV), são originalmente encontradas por meio da geometria do reservatório. No estudo de Molle (1994), foi demonstrado o modo de se obter a CAV em pequenos açudes, verificando a variabilidade e a sua influência sobre o tipo de aproveitamento (Molle, 1994). Com o estudo de 420 reservatórios, sendo 13 deles no estado de Pernambuco, pode-se relacionar a geometria dos reservatórios em uma função potência com apenas dois parâmetros característicos: (α) e (K), onde o valor de α é a concavidade das encontas, e o K seria a abertura geral do cone (Molle, 1994).

$$V = K \cdot H^\alpha \quad (1)$$

onde V é o volume armazenado e H a profundidade da água.

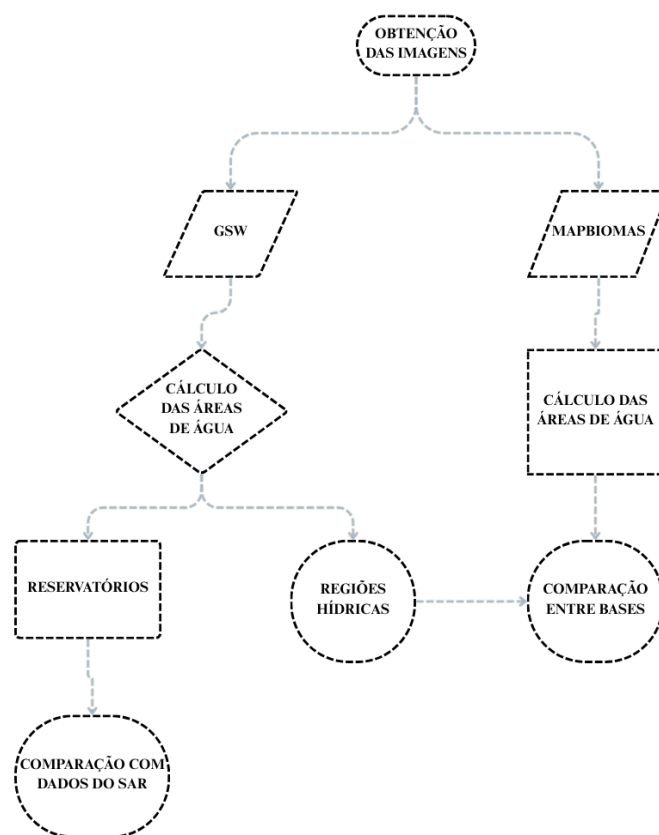
De forma semelhante ao estudo de Molle (1994), Liebe et al. (2005), propôs a relação de área superficial com o volume, seu estudo conseguiu estabelecer que as áreas de superfície de pequenos reservatórios podem ser mapeadas de forma confiável com base nas imagens de satélite.

Segundo Rodrigues e Liebe (2013), foi observada uma alta correlação entre os parâmetros das relações área-volume para a bacia do Rio Preto, assim como para a região do alto leste de Gana, o que demonstra que a equação de potência genérica obtida por eles poderia ser usada com confiança na simulação do volume em função da área superficial nos reservatórios dessa mesma bacia.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Aqui descreve-se toda a metodologia traçada para desenvolver o estudo, especificando o uso de materiais e de acordo com suas metodologias de referência. A Figura um retrata um fluxograma com as principais etapas da metodologia adotada.

Figura 1 - Fluxograma reduzido das etapas da metodologia



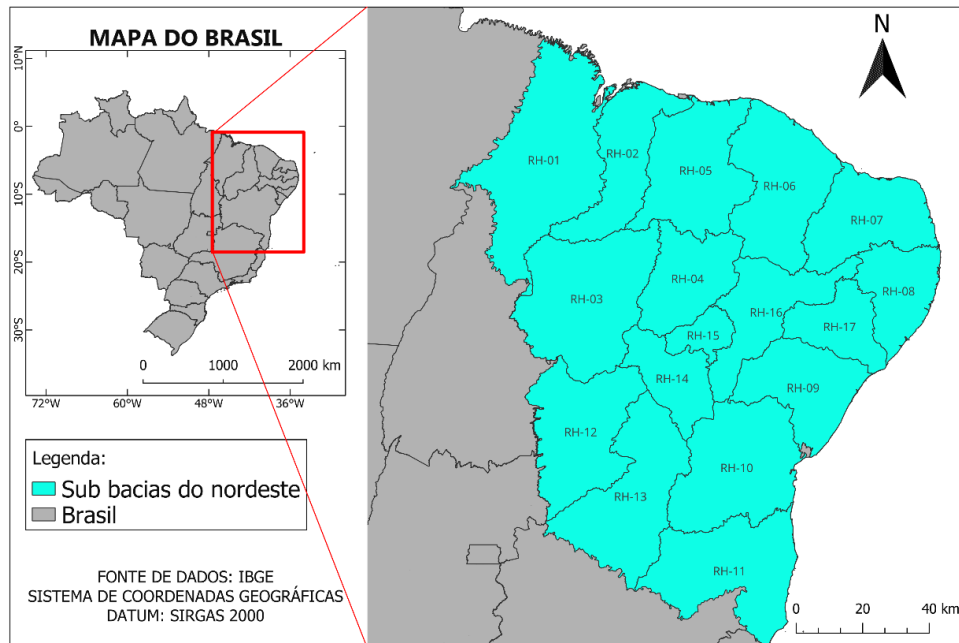
Fonte: Autor (2025)

3.1 Área de estudo

A área de estudo é a região do Nordeste brasileiro (NEB), além de uma parcela do norte do estado de Minas Geras, que está inserida no clima do semiárido brasileiro (Oliveira, 2023). A região do Nordeste pode ser subdividida em 17 regiões hidrográficas, Figura 2 e Tabela 1, apresentam características dessas regiões (Oliveira, 2023). O NEB é a segunda região mais populosa do Brasil, com cerca de 54 milhões de habitantes (IBGE, 2023). Ela possui 1,56 milhões de km², cerca de 18,2% do território nacional e engloba nove Estados: Alagoas, Bahia,

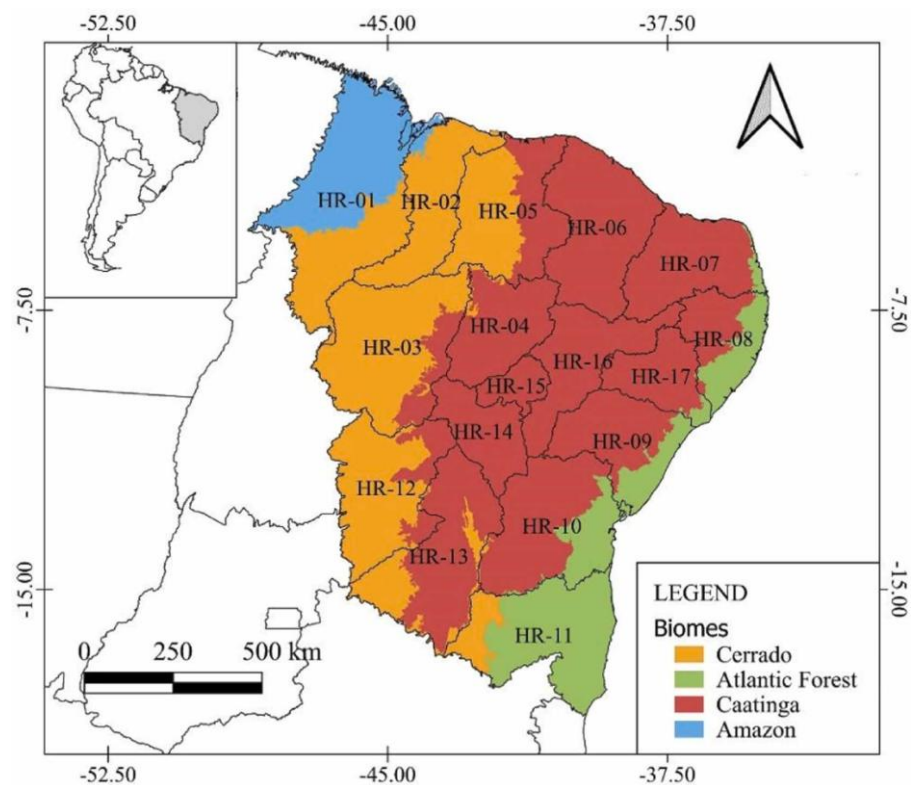
Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (Oliveira, 2023). A região acomoda quatro dos seis biomas, Figura 3, do Brasil: Amazônia, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica, com a Caatinga prevalecendo devido ao clima semiárido da região, que exibe uma concentração de precipitação de fevereiro a maio, juntamente com uma variabilidade interanual substancial (Cirilo et al., 2017).

Figura 2: Discretização das sub bacias utilizadas no estudo.



Fonte: Autor (2025)

Figura 3 - Biomas da área de estudo



Fonte: Oliveira (2023)

Nota: Dados dos biomas com base no IBGE (2019).

Tabela 1 - Características fisiográficas das regiões hidrográficas na área de estudo

Região Hidrográfica	Área (10³ km²)	Clima (Köppen, 1936)	Bioma
1	186	Aw, Am	AM/CE
2	85	Aw, As	CE
3	151	Aw	CE/CA
4	76	BSh, Aw	CA
5	115	As, Aw	CE/CA
6	121	BSh, As	CA
7	92	BSh, As	CA
8	64	As, BSh	CA/MA
9	85	As, BSh	CA/MA
10	128	BSh, Af	CA/MA
11	121	Cwa, Aw	MA/CE
12	112	Aw	CE/CA
13	125	As, Aw	CA/CE
14	54	BSh, Aw	CA
15	22	BSh	CA
16	82	BSh, As	CA
17	53	BSh, As	CA/MA

Clima- Af: Tropical sem estação seca, Am: Tropical de monção, As: Tropical com verão seco, Aw: Tropical com inverno seco, BSh: semiárido de baixa latitude e altitude, Cwa: Subtropical úmido com inverno seco e verão quente. Biomas - AM: Amazônia, CE: Cerrado, CA: Caatinga, MA: Mata Atlântica. Clima com base em Alvares et al. (2013) e vegetação com base em IBGE (2019).

Fonte: Oliveira (2023).

3.1.1 Estudos no Nordeste

Em virtude do número elevado de reservatórios existentes na região Nordeste, a utilização de imagens de satélite é fundamental para monitorar os corpos d'água e mensurar os efeitos da transposição nos principais reservatórios que abastecem milhões de pessoas e a agricultura irrigada (Pereira, 2019). O monitoramento dos espelhos d'água poderia facilitar o trabalho das agências estaduais e federais de gestão de águas, sobretudo na região semiárida onde a problemática de escassez de água é permanente (Pereira, 2019).

De acordo com Menezes (2021), através do sensoriamento remoto na análise do espelho d'água para o reservatório de Sobradinho, constatou-se que entre os anos de 2017 e 2020 houve uma variação positiva entre a área ocupada pelo corpo hídrico do reservatório que apresentou um aumento de 196% da área em 2020, aumentando de 66.549 ha para 197.282 ha pelo cálculo do índice NDWI e cerca de 200% pelo MNDWI, indo de 68.308 ha para 205.422 ha, esse aumento é justificado pelo aumento de precipitação pluviométrica e pelo volume útil do ano de

2020.

Segundo Souza (2024), que realizou um estudo sobre o uso de imagens de radar do satélite Sentinel 1 para seis reservatório da Zona da Mata e Região Metropolitana do Recife, os resultados obtidos para detecção de água através do algoritmo *SurfWater* foram satisfatórias. Os resultados mostraram que é possível acompanhar as tendências de aumento e queda do nível de água através do cálculo da área superficial de água nos reservatórios.

Entretanto, o uso de imagens de radar para detecção de pixels de água próximos aos limites dos reservatórios sofre com limitações, já que a detecção de água e consequentemente a estimativa da área superficial são prejudicadas nas bordas pela presença de objetos de alta refletância (árvores, pontes, muros, etc.) (Souza, 2024). De acordo com Penã-Luque et al. (2021), o sinal difuso desses elementos pode afetar as bordas de maneira que os *pixels* de “água” sejam classificados como “não água”, o que resulta em uma perda de área inundada (Souza, 2024).

Uma outra abordagem foi adotada no estudo de Souza (2024), com a utilização de imagens ópticas, no qual os resultados obtidos não foram satisfatórios, de forma que houve uma considerável diferença entre os valores de área calculados das máscaras de água geradas pelo algoritmo *WaterDetect* e os valores obtidos do monitoramento *in situ*. Entre as justificativas levantadas estão a ocorrência de nuvens nas imagens e as elevadas quantidades de falhas na detecção dos *pixels* de água geradas pelo *WaterDetect*.

3.2 Obtenção dos produtos das bases de dados

A obtenção dos produtos foi realizada através da plataforma *Google Earth Engine*, a qual se trata de um ambiente de processamento em nuvem, com objetivo de fazer análise de dados ambientais em grande escala e com recursos computacionais amplos, utilizando os servidores Google para processamento (Becker et al. 2019).

O processo foi realizado por meio de script, conjunto de códigos de programação em Java script, linguagem de programação utilizada na plataforma do GEE. Para a base do GSW, foi criado um script, já para o Mapbiomas foi realizado adaptação em uma linha de código disponibilizado pela própria plataforma. Os produtos são obtidos em formato TIFF, os pixels que as compõem devem ter atributos de 1 para “água” e valor 0 para “não água”, para as imagens do GSW, enquanto nas imagens do Mapbiomas o pixels para “água” são encontrados com atributos iguais a 33.

Os cálculos das superfícies de água foram realizados por meio de um código em *Java script* com medições individuais para cada uma das 17 sub-bacias. O script lê os arquivos TIFF obtidos e realiza o somatório dos pixels com valores atribuídos “água”. Após somar todos os

pixels, delimitados pelas sub-bacias, realiza-se a multiplicação do somatório de *pixels* pela área do *pixel* (de 900 m²), já que os *pixels* de ambas as bases possuem dimensões de 30x30 m. Uma planilha é retornada com as áreas calculadas por sub-bacia e por intervalo de tempo, no caso da base do GSW será por mês, já para a base do Mapbiomas no intervalo anual. No total foram calculadas áreas de superfícies d'água para 454 imagens referentes ao período de março de 1984 à dezembro de 2021 na base do GSW e 38 imagens na base do mapbiomas do ano de 1985 à 2023.

3.2.1 Global Surface Water

O conjunto de dados do *Joint Research Centre-Global Surface Water* (JRC-GSW) documenta a localização e a distribuição temporal das águas superficiais de 1984 a 2020 com resolução de 30 m com base nas imagens de satélite Landsat (Huang et. al. 2023).

Os registros da dinâmica da água superficial foram obtidos por observações de satélites de baixa resolução, mapas sazonais com imagens Landsat e estudos continentais. Essa base se destaca ao utilizar o arquivo completo das imagens Landsat 5, 7 e 8, cobrindo 32 anos, para mapear a variabilidade espacial e temporal da água superficial global, aproximadamente 3 milhões de imagens do satélite Landsat (Pekel et. al. 2016).

Cada *pixel* das imagens Landsat foi classificado como água aberta, terra ou observação inválida usando um sistema especializado. A classificação foi validada com mais de 40.000 pontos de referência, confirmando menos de 1% de detecções falsas de água e uma taxa de erro menor que 5% (Pekel et. al. 2016).

Neste trabalho, foram utilizados os dados disponibilizados pelo conjunto “GSW (v1.4)”, disponível junto à plataforma do GEE. Essa coleção contém todo o histórico de detecção de água mês a mês. A coleção contém 454 cenas, uma para cada mês entre março de 1984 e dezembro de 2021. O histórico mensal de água do GSW (v1.4) é um conjunto de dados altamente preciso e confiável que é produzido usando técnicas que incluem sistemas especialistas, análise visual e raciocínio evidencial (Pekel et. al. 2016).

Entretanto, os dados da GWS por trabalhar na escala do *píxel* do Landsat (30m), tem limitações para detectar água em ambientes de alta complexidade espectral, com mistura de água, vegetação e solos, típicos de áreas úmidas, planícies de inundação, e em pequenas lagoas e córregos estreitos (Souza et. al. 2019).

3.2.2 MapBiomas

A iniciativa MapBiomas Água é pioneira no Brasil no mapeamento histórico dos corpos

hídricos do território nacional. Seu objetivo principal é disponibilizar dados mensais e anuais sobre a dinâmica da água superficial, distinguindo entre corpos d'água naturais e aqueles de origem humana, como represas, áreas de mineração e outros reservatórios artificiais, com registros desde 1985 (Ferreira et al. 2023). O produto também contribui para o aperfeiçoamento do mapeamento anual de uso e cobertura da terra, oferecendo maior detalhamento de áreas úmidas e a identificação de pequenos corpos hídricos com área superior a 0,5 hectare (MapBiomias, 2021).

O mapeamento é realizado a partir de imagens Landsat processadas na escala de sub-*píxel*. Esse método utiliza um conjunto de bandas derivadas do Modelo de Mistura Espectral (MEM), que decompõe a informação espectral para estimar proporções de vegetação fotossintética ativa, vegetação não fotossintética, solo exposto, sombra e nuvem. Essa abordagem permite identificar corpos hídricos mesmo em situações em que há mistura de materiais no *píxel*, como margens com vegetação ou áreas de várzea (Ferreira et al. 2023).

O processamento da série histórica, que cobre o período de 1985 a 2023, envolveu a análise de mais de 190 mil imagens Landsat na plataforma Google Earth Engine. Foram utilizadas todas as imagens com até 70% de cobertura de nuvens e resolução espacial de 30 metros. O fluxo de trabalho segue quatro grandes etapas (Ferreira et al. 2023):

Pré-processamento – Inclui a seleção de imagens dos sensores Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ e Landsat 8 OLI; aplicação de máscaras para nuvens e sombras; e exclusão de cenas com cobertura excessiva de nuvens. O MEM é aplicado para gerar as bandas composicionais referentes aos componentes espectrais, permitindo identificar a alta proporção de sombra associada à presença de água (MapBiomias, 2021).

- a) Classificação – Baseia-se em regras de decisão fuzzy aplicadas às bandas do MEM. A pertinência de cada *píxel* à classe “água” é calculada e combinada a partir de diferentes escalas temporais (mensal, anual). Critérios de limiar determinam se o *píxel* é classificado como água permanente, intermitente ou não água (MapBiomias, 2021).
- b) Pós-processamento – Remove ruídos com base na frequência de ocorrência dos *píxels* e nas características topográficas (declividade). Essa etapa refina o produto final, excluindo falsas detecções em áreas não condizentes com a presença de água (MapBiomias, 2021).
- c) Avaliação de acurácia – Utiliza dados de referência coletados pelo LAPIG/UFG, comparando a classificação anual do MapBiomias com amostras estratificadas em diferentes categorias de frequência de água. Essa análise fornece métricas de acurácia do produtor e consumidor para a classe “superfície de água” (MapBiomias, 2021).

A aplicação dessas etapas possibilita a geração de uma base de dados robusta e padronizada sobre a distribuição temporal e espacial da água no Brasil, essencial para estudos

ambientais e para a gestão integrada dos recursos hídricos (MapBiomas, 2021).

3.3 Reservatórios

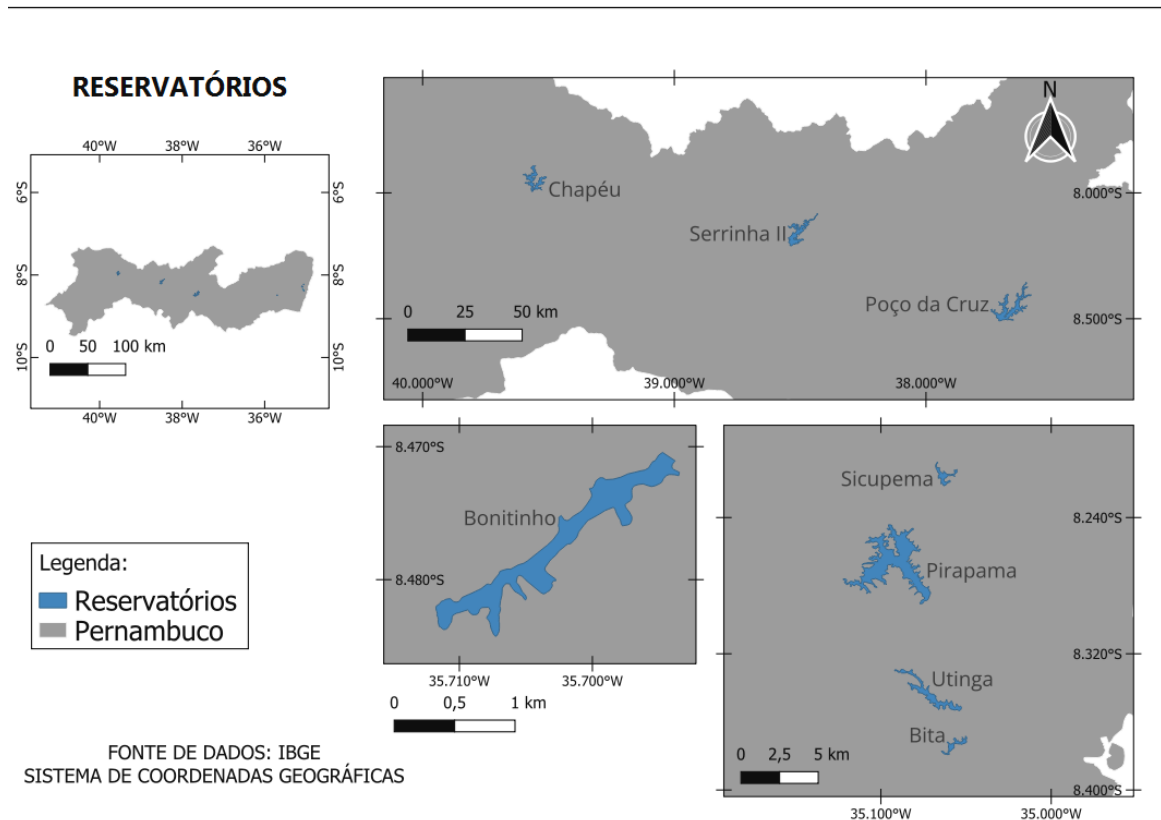
Após os resultados obtidos entre as duas bases de dados na região do NEB, aprofundou-se o estudo sobre a base GSW no monitoramento de reservatórios, a Tabela 2 representam as características dos reservatórios, foram escolhidos oito reservatórios no estado de Pernambuco, Figura 4, com base no estudo de Souza (2023), que utilizou nove reservatórios, cinco localizados na região da zona da mata do estado: Bitá, Bonitinho, Pirapama, Sicupema e Utinga. Os outros três estão localizados na região do Sertão de Pernambuco: Chapéu, Poço da Cruz e Serrinha II. Todos são monitorados pelo Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR) da ANA, que reúne informações de mais de 500 reservatórios do Nordeste, apresentando 104 reservatórios no estado de pernambuco (Moura, 2021).

Tabela 2 - Características dos Reservatórios

Reservatório	Área superficial máxima (km ²)	Capacidade máxima (hm ³)
Sicupema	0,114	3,2
Pirapama	12,78	60,88
Utinga	1,662	10,43
Bitá	0,823	2,77
Bonitinho	0,727	1,84
Chapéu	26,605	187,69
Serrinha II	44,228	311,08
Poço da Cruz	53,336	483,72

Fonte: Adaptado de Souza (2023)

Figura 4 - Reservatórios Estudados



Fonte: Autor (2025)

O estudo se propôs a realizar o cálculo dos volumes a partir das áreas obtidas através dos dados do GSW. Para cada reservatório, foram utilizadas as fichas técnicas com a CAV disponibilizada pela Agência Pernambucana de Climas e Águas (APAC). Com os dados das fichas, traçaram-se as curvas área-volume, definindo equações pela regressão potêncial.

Em seguida, calcularam-se os volumes correspondentes a cada área superficial encontrada por reservatório mensalmente para, em seguida, efetuar a comparação com os dados históricos observados obtidos junto ao site da ANA. Utilizou-se o período de outubro de 2006 a dezembro de 2021 em função da disponibilidade de dados do GSW e observados dos reservatórios.

Os dados diários do SAR foram convertidos para mensal para compatibilizar com a base GSW. Utilizaram-se as CAVs para converter a área superficial dada pelo GSW em volume e, em seguida, transformados de m^3 para hm^3 . Com os dados devidamente ajustados, realizou-se a comparação.

4 RESULTADOS

4.1 Áreas superficiais pelo GSW

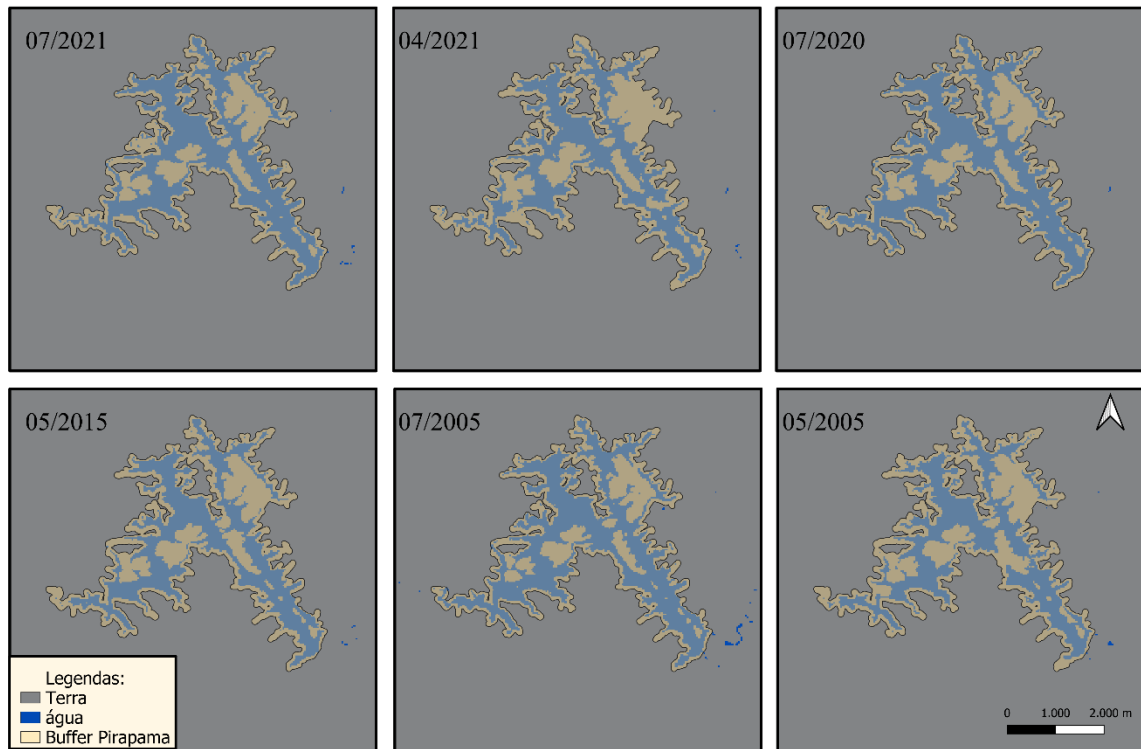
Devido ao uso de um script para aquisição dos produtos, foi possível fazer o download através do GEE, onde os arquivos são exportados diretamente para o drive do e-mail cadastrado na plataforma. Na Figura 5, tem-se um exemplo de máscara obtida, que pode ser observada através do software Qgis, onde foram adicionadas as delimitações das regiões hidrográficas. Os pontos brancos são espelhos de água registrados para o mês em que a imagem está associada, esse pixel tem valor igual a 1, onde está em preto significa a não presença de água naquele local, com pixel igual a 0. Na Figura 6, temos um exemplo de extensões em diferentes datas para a área dos reservatório de Pirapama, localizado na RH08.

Figura 5 – Massas de água referentes a julho/2019 sobreposta à área de estudo



Fonte: Autor (2025)

Figura 6 – Exemplo de extensão de água pelo GSW no reservatório Pirapama



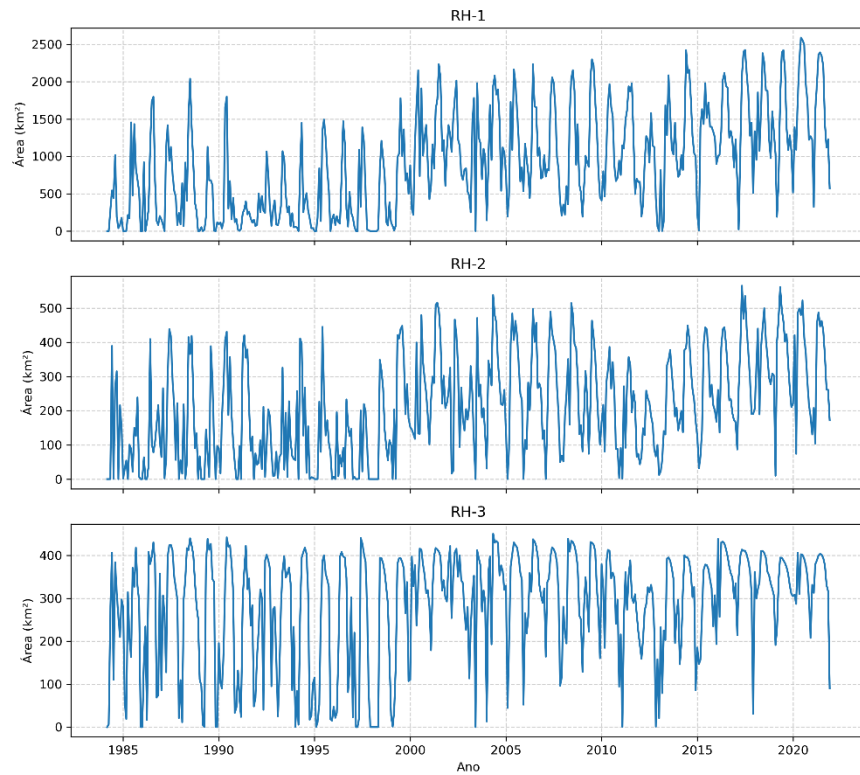
Fonte: Autor (2025)

A variação temporal da superfície de água em todas as RHs é apresentada nas Figuras 7 a 12. A Figura 7 apresenta a evolução temporal da área da Região Hidrográfica 01, onde é perceptível um aumento na área superficial encontrada. Apesar desse aumento, notam-se também oscilações recorrente nos valores de área encontrados, características de aparentes falhas no processamento das imagens.

Analisando os gráficos das regiões nota-se o intervalo dos meses de dezembro de 1997 à maio de 1998, onde apenas as regiões RH-11 e RH-13 tiveram alguma área superficial de água encontrada nos meses de fevereiro e abril e no mês de maio somente as regiões RH01 e RH03, para as demais regiões não foram computadas a presença de água. Esse comportamento é compatível com a ocorrência de um episódio de seca no NEB entre 1997 e 1998.

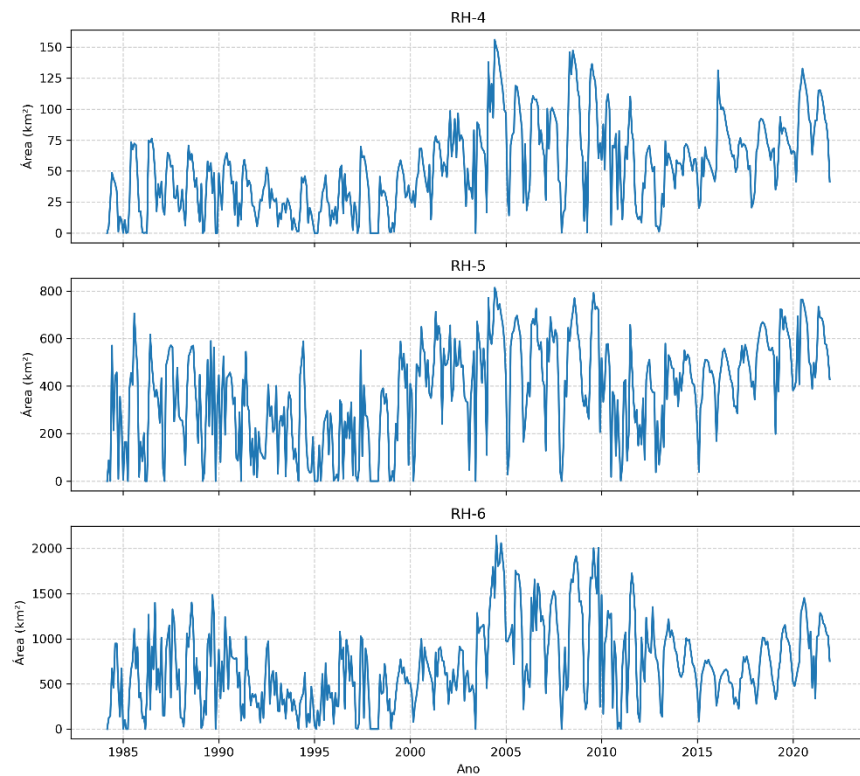
Nas Figuras 8 e 9 temos as evoluções de área das RH-04 à RH-09, percebe-se que para essas regiões a máxima área encontrada foram 2004 entre o período de 2000 à 2006, com consideravel aumento nas regiões 4, 6 e 7, após o pico houve uma recessão das áreas e volta de crescimento depois de 2015.

Figura 7 - Área superficial ao longo do tempo RH-01, RH-02 e RH-03 para os dados do GSW



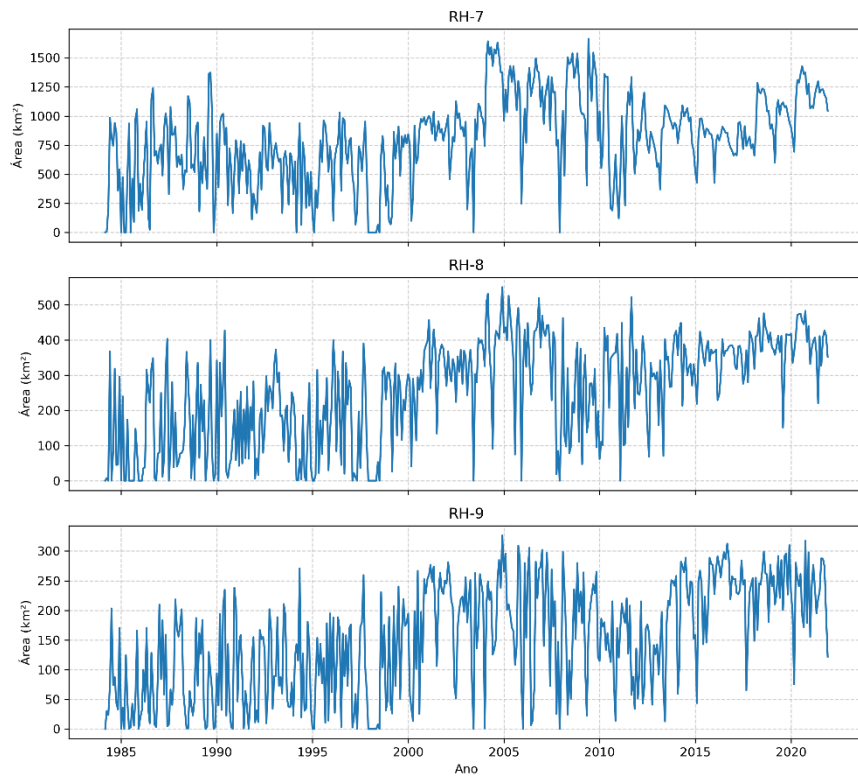
Fonte: Autor (2025)

Figura 8 - Área superficial ao longo do tempo RH-04 RH-05 e RH-06 para os dados do GSW



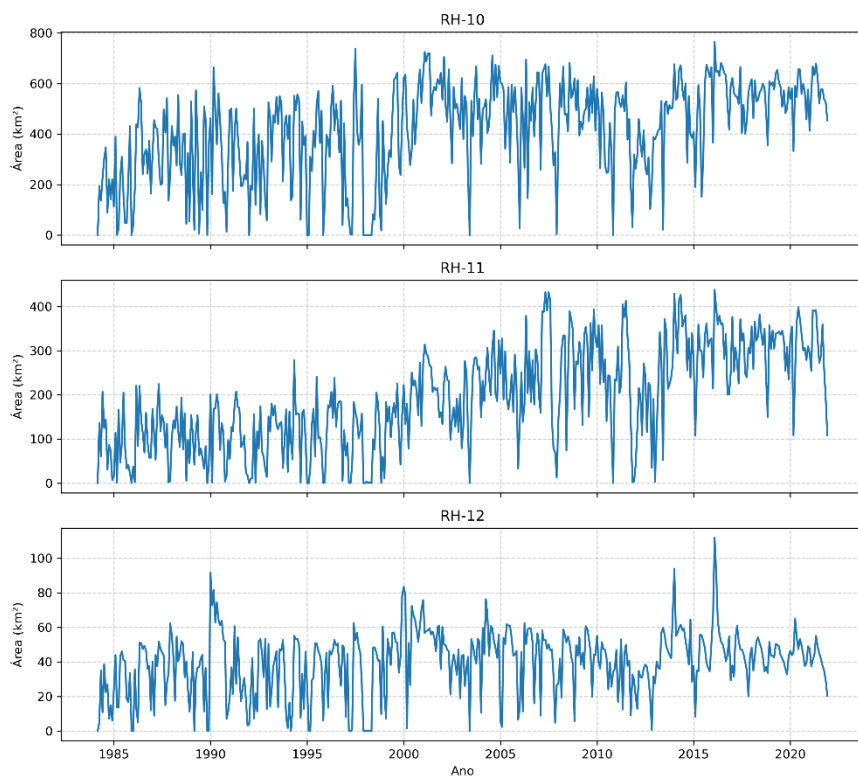
Fonte: Autor (2025)

Figura 9 - Área superficial ao longo do tempo RH-07 RH-08 e RH-09 para os dados do GSW



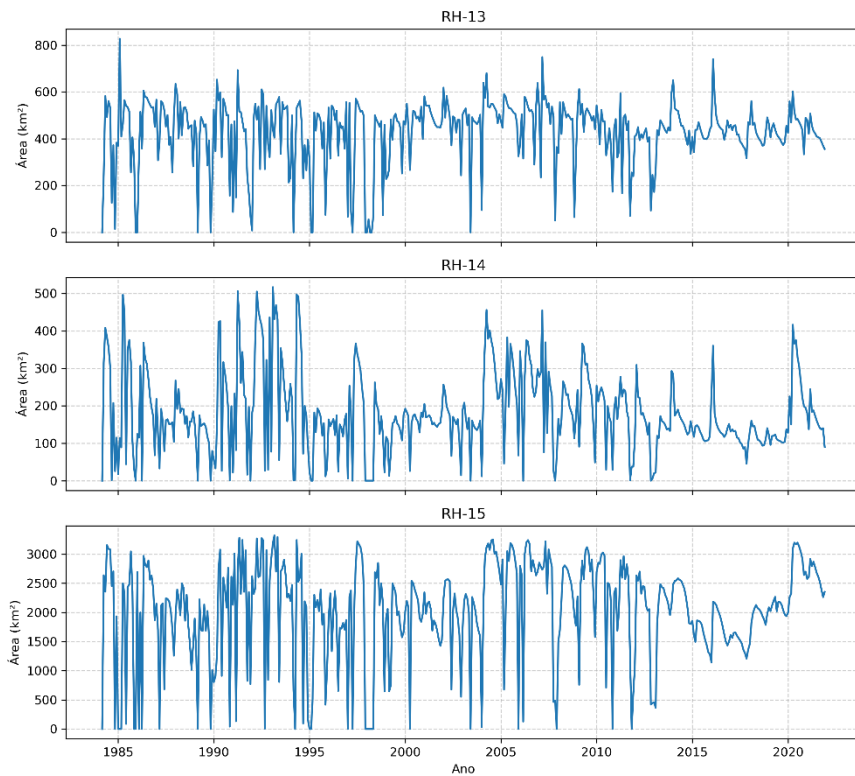
Fonte: Autor (2025)

Figura 10 - Área superficial ao longo do tempo RH-10 RH-11 e RH-12 para os dados do GSW



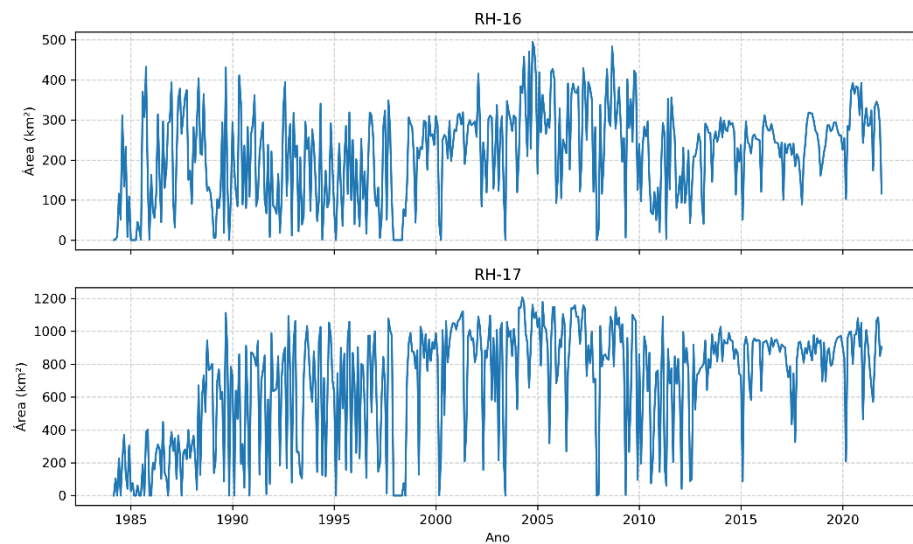
Fonte: Autor (2025)

Figura 11 - Área superficial ao longo do tempo RH-13 RH-14 e RH-15 para os dados do GSW



Fonte: Autor (2025)

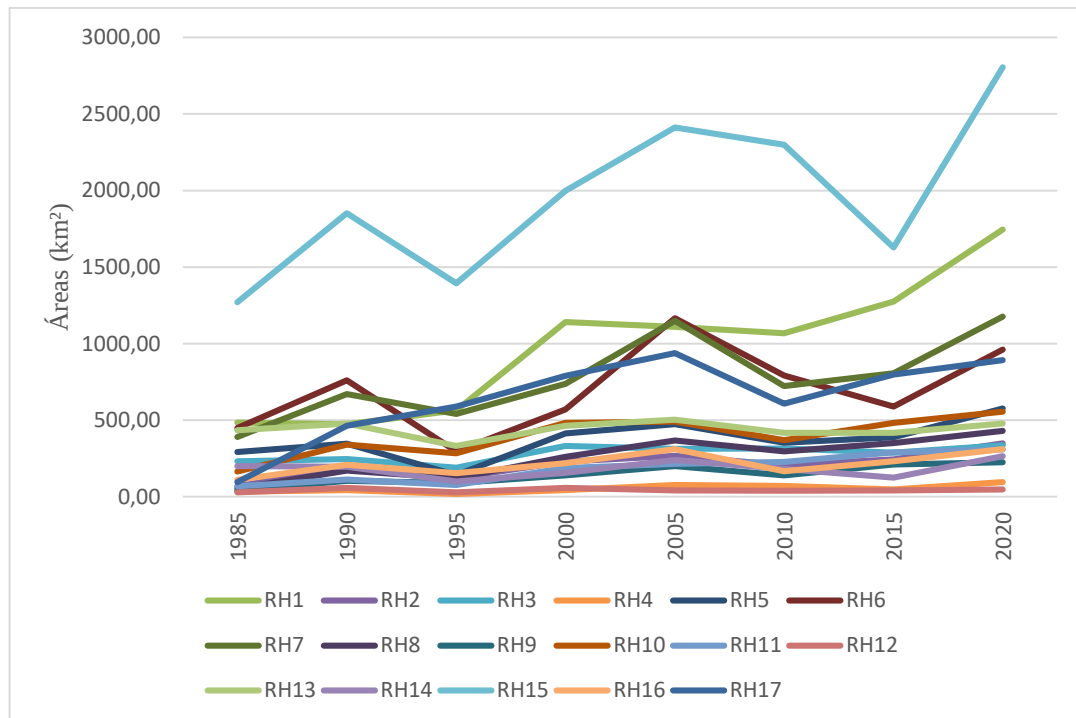
Figura 12 - Área superficial ao longo do tempo RH-16 e RH-17 para os dados do GSW



Fonte: Autor (2025)

A Figura 13, apresenta às área dos espelhos d'água, em km², das 17 RHs. Foi escolhido representar a média anual para padronização, tendo em vista que as máscaras disponíveis no MapBiomas estão em períodos anuais, assim calculou-se a média dos 12 meses para cada ano, obtendo a média anual, para devida comparação.

Figura 13 - Resultado das médias anuais por regiões hidrográficas para os dados mensais do GSW



Fonte: Autor (2025)

A variação percentual entre os intervalos de tempo utilizados na Figura 11, percebe-se que para o intervalo entre 1990 à 1995 apenas as regiões RH01 e RH17 tiveram aumento na área de água, respectivamente, em torno de 19% e 27%, caracterizando um aumento de 473,75km² para 564,16km² para a RH01 e de 463,73 para 589,36km² para a RH17.

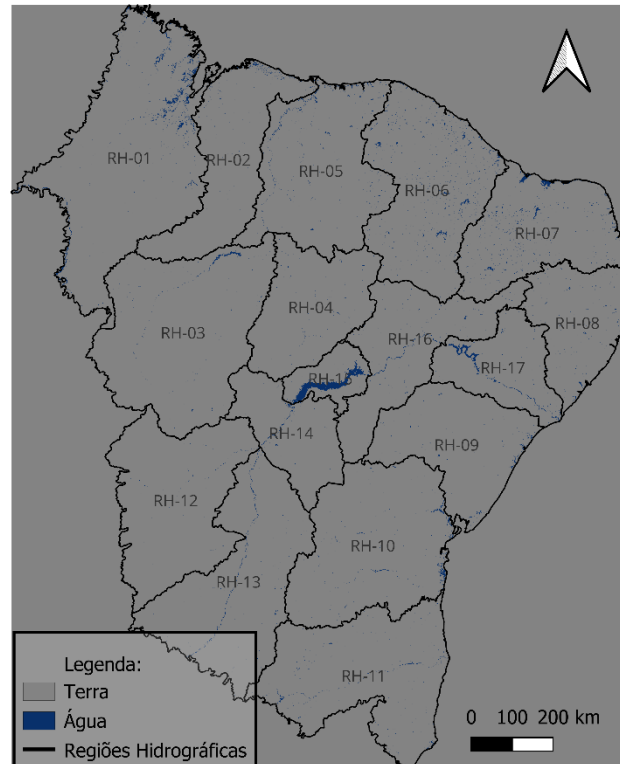
Enquanto todas as outras reduziram sua área com destaque para RH04, RH05 e RH06 tendo reduzido mais de 50% de suas respectivas áreas calculadas para o intervalo de 1985 à 1990, encontrand, respectivamente, 18,65km², 141,59km² e 295,44km².

Apesar das reduções constatadas através das variações negativas nos períodos de 1990 à 1995 e 2005 à 2010, em contrapartida houve aumentos consideráveis nos demais períodos, como 192,32% na RH05 no intervalo de 1995 à 2000, variando de 141,59km² para 413,91km² e em 113,27% no período de 2015 à 2020, com aumento de 388,58km² para 576,17km² no geral todas regiões tiveram aumentos nas áreas, como por exemplo a RH17 com variação total em 475,64%, saindo de 95,07km² em 1985 e chegando a 892,16km² em 2020.

4.2 Áreas superficiais pelo Mapbiomas

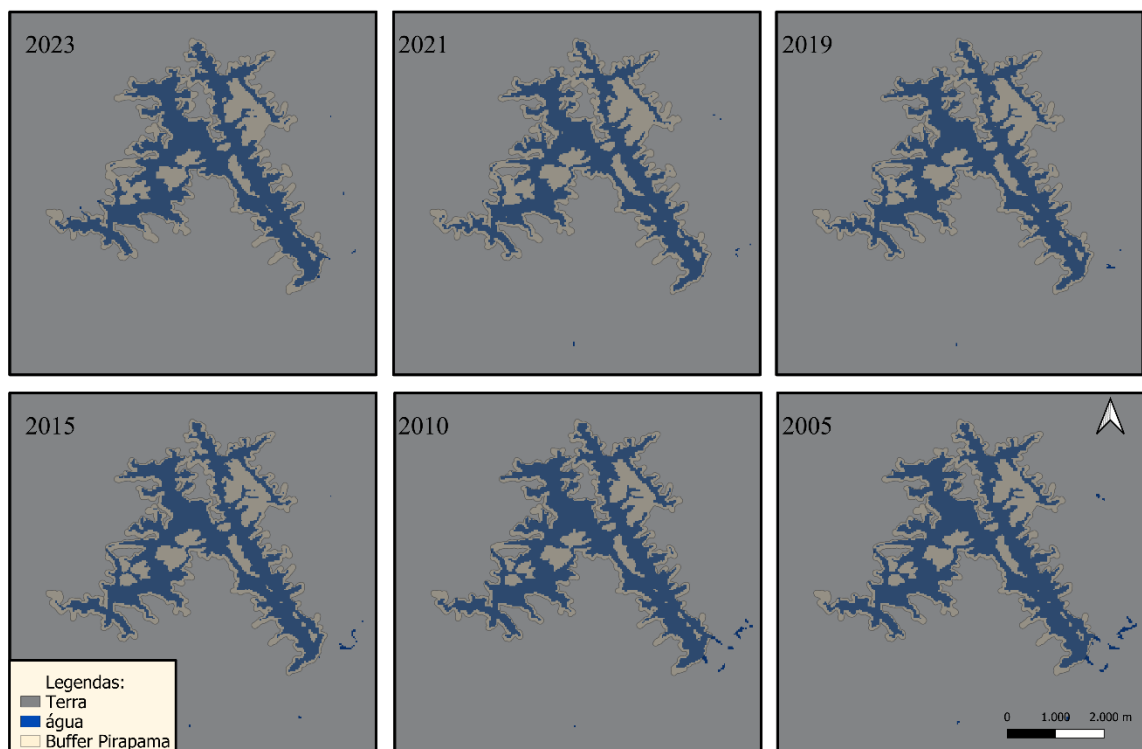
As máscaras do MapBiomas se apresentam com delimitações mais representativas visualmente, Figura 14, inclusive quando há aproximação, Figura 15, para o reservatório de Pirapama onde notam-se representações mais próximas às áreas de capacidade total de ambos corpos de água.

Figura 14 – Massas de água obtidas do MapBiomias para o ano de 2023



Fonte: Autor (2025)

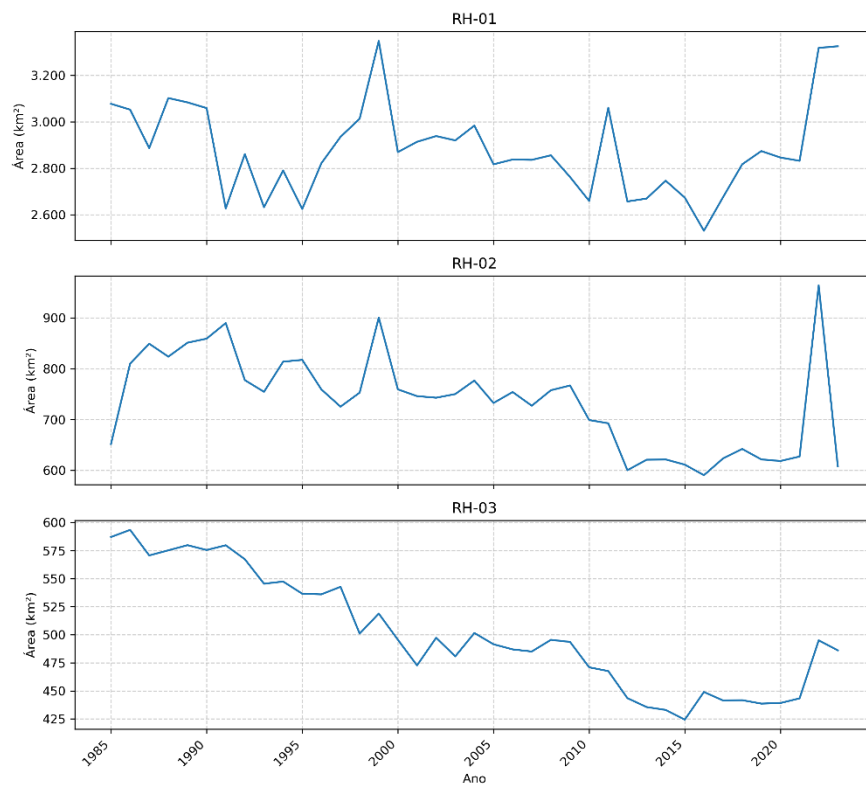
Figura 15 - Exemplo de extensão de água pelo MapBiomias no reservatório Pirapama



Fonte: Autor (2025)

Das Figuras 16 à 21 estão apresentadas as evoluções das áreas (km²) pelo tempo (anos), nas imagens do Mapbiomas, destacando a região RH12, que teve um aumento do ano de 1985 para 1990 e em seguida manteve a redução até 2020, quando retornou a aumentar. Todas as regiões sofrem com variações, as RH2, e RH8 à RH17 tiveram aumento de área entre os anos de 1985 à 1990, entre os anos de 1991 à 1995, apenas as RH9, RH11 e RH17, onde RH6 e RH14 tiveram uma redução, já para o período seguinte apenas RH1 e RH5 aumentaram a área, dessa forma ocorreram oscilações durante o período, em relação ao último período, todas as sub-bacias, exceto a RH10, mesmo assim variando apenas -0,53% em relação ao período anterior.

Figura 16 - Área superficial ao longo do tempo RH-01, RH-02 e RH-03 para os dados do Mapbiomas



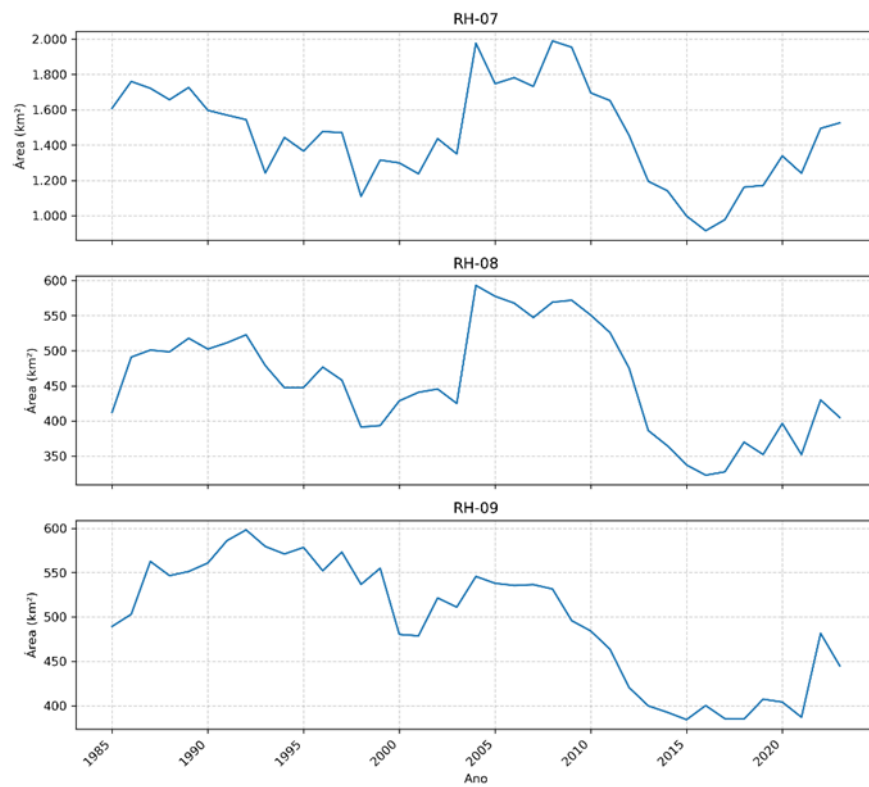
Fonte: Autor (2025)

Figura 17 - Área superficial ao longo do tempo RH-04, RH-05 e RH-06 para os dados do Mapbiomas



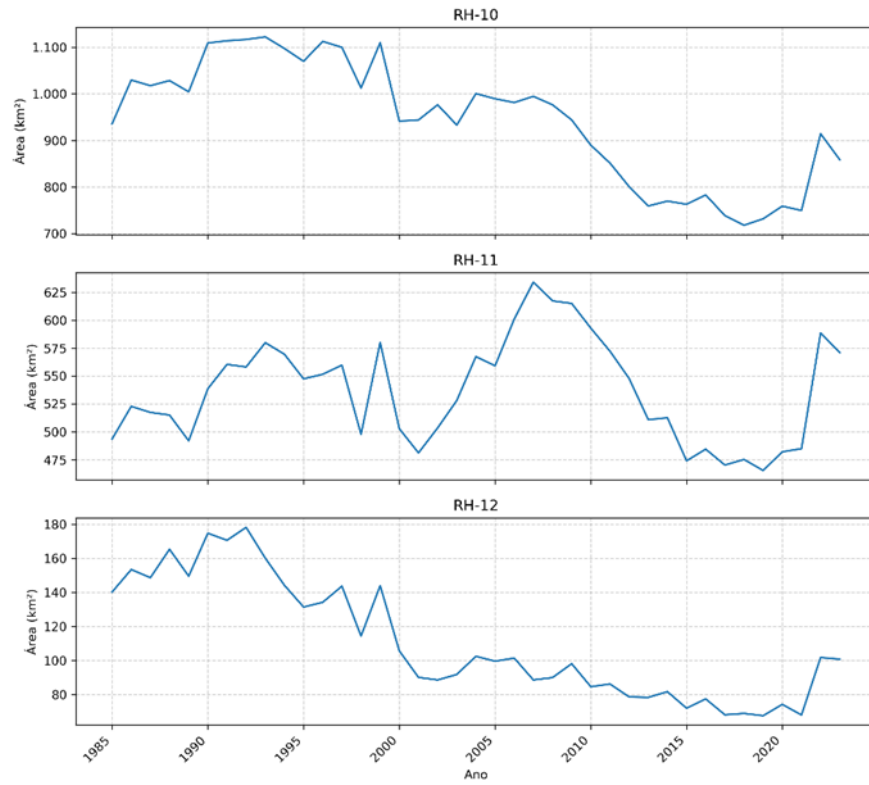
Fonte: Autor (2025)

Figura 18 - Área superficial ao longo do tempo RH-07, RH-08 e RH-09 para os dados do Mapbiomas



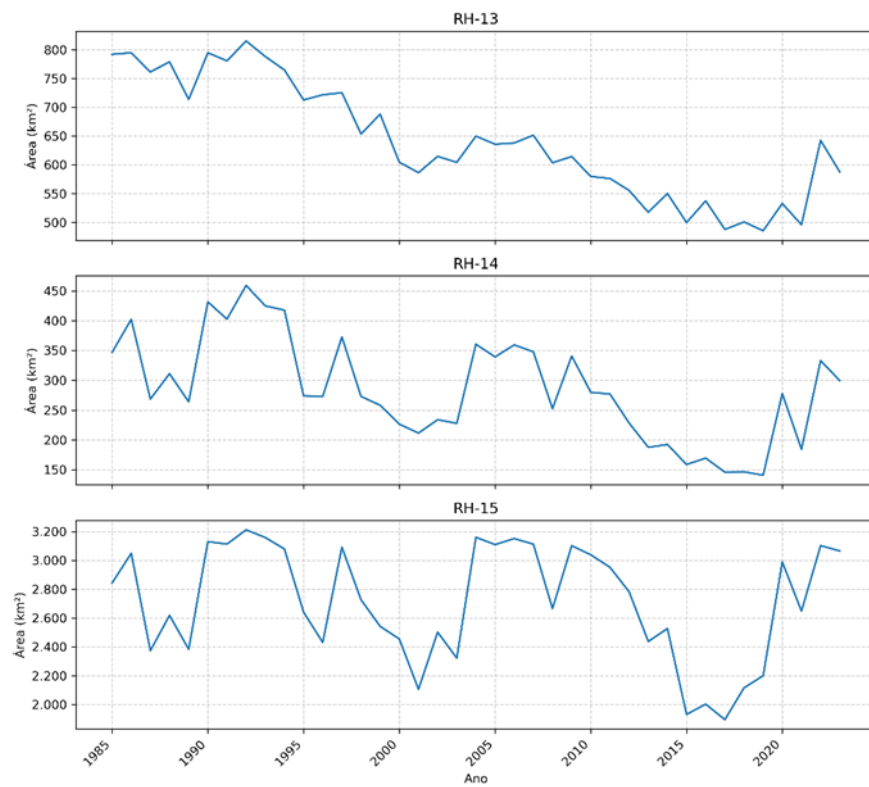
Fonte: Autor (2025)

Figura 19 - Área superficial ao longo do tempo RH-10, RH-11 e RH-12 para os dados do Mapbiomas



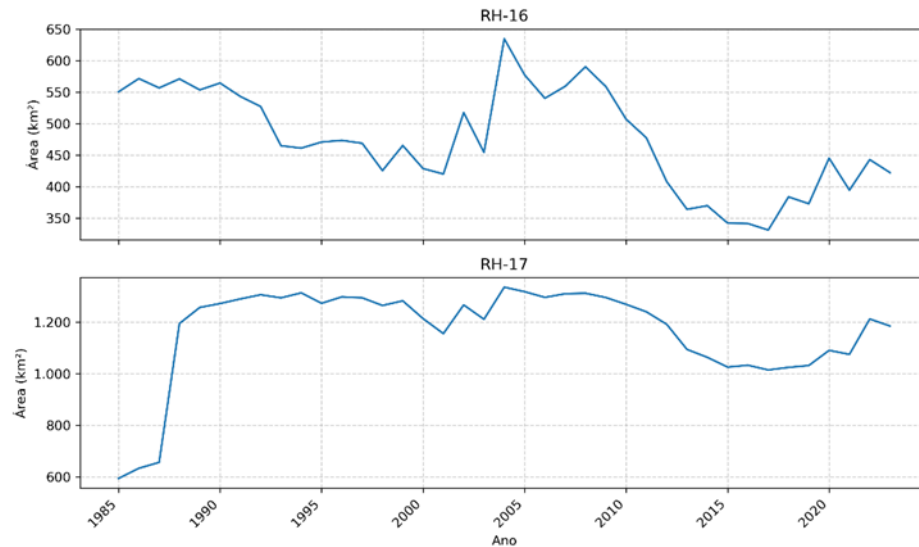
Fonte: Autor (2025)

Figura 20 - Área superficial ao longo do tempo RH-13, RH-14 e RH-15 para os dados do Mapbiomas



Fonte: Autor (2025)

Figura 21 - Área superficial ao longo do tempo RH-16, RH-17 para os dados do Mapbiomas



Fonte: Autor (2025)

De foram geral, 9 das 17 regiões tiveram um aumento da variação entre o ano de 1985 a 2023, indicando o aumento da área superficial de água, sendo elas RH2, RH4, RH6, RH7, RH8, RH11, RH 14, RH15 e RH17, essa última com um variação de 101,45% ao total, com área de 594,39km² em 1985 e área de 1184,95km² em 2023, boa parte por conta da variação no primeiro período com 114.00%, obtendo 1272,00km² em 1990.

4.3 Comparação entre as bases

Ao comparar a variação de área entre as duas bases de dados desse estudo, apresentada na Tabela 2, calculada através da diferença de área superficial encontrada entre as duas bases por região no intervalo de 5 anos, inicialmente notam-se diferenças consideráveis entre as bases, com variações maiores que 1000% no ano de 1985 para a RH09, em que foi encontrada um área de 39,67km² na base do GSW e de 489,38 para base do Mapbiomas e em 854.45% na RH02 para mesmo ano, no qual encontrou-se uma área de 68,30km² no GSW e de 651,91 no Mapbiomas, a comparação foi realizada usando os valores do GSW como referência, indicando que há uma subestimação nos valores dessa base ou superestimação para base do Mapbiomas.

Ressaltasse a ausência de áreas encontradas em alguns períodos como mencionado no item 4.1 deste trabalho, além de que foram encontradas imagens com falhas de processamento durante a inspeção visual realizada através do software Qgis.

Destacasse que os valores anuais para a base do GSW foram encontrados a partir das médias das áreas mensais dos respectivos anos, que devem ter sido subestimados devido as essas falhas mencionadas. Entretanto, apesar dessas situações, foram encontradas variações negativas, indicando que as áreas calculadas na base do Mapbiomas foram menores, esses

valores estão nas colunas dos anos 2015 com -3,60%, com área de 350,01km² no GSW e 337,40km² para o Mapbiomas e 2020 tendo -7,87%, obteve-se 430,45km² e 396,59, nas bases do GSW e Mapbiomas, respectivamente para a RH08.

Tabela 3 - Variação percentual da Área no intervalo de 5 anos (GSWxMapbiomas)

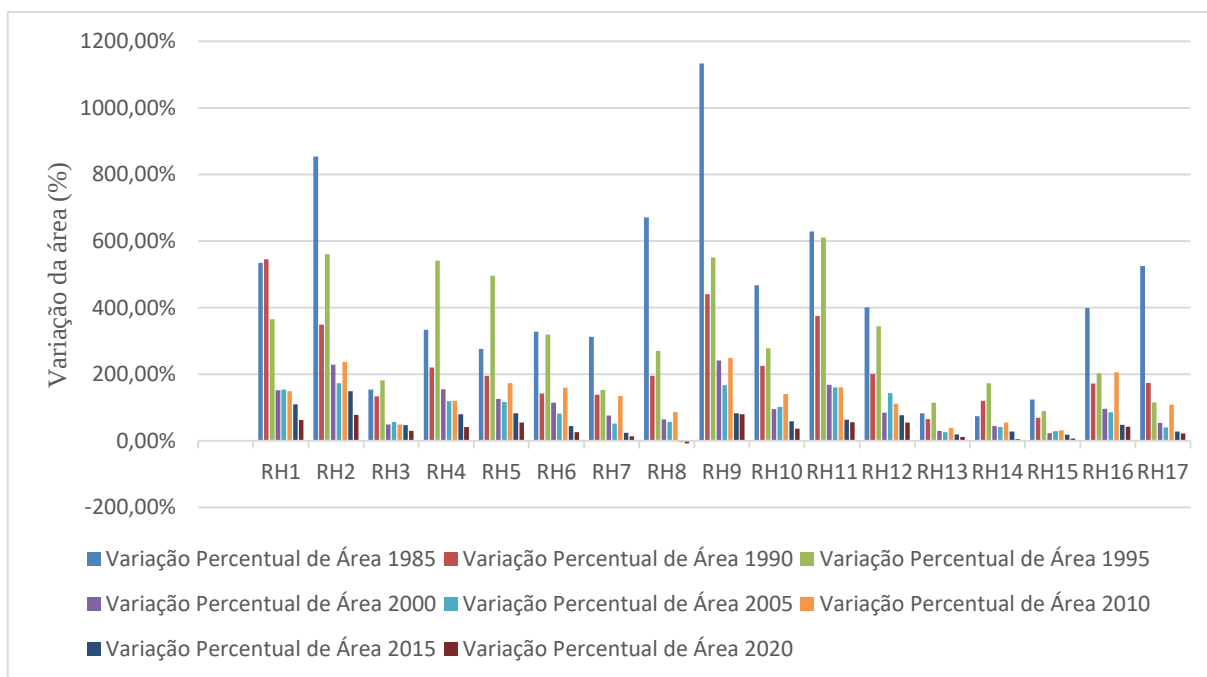
Sub bacia	Variação Percentual de Área							
	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
RH1	534.79%	545.66%	365.23%	151.65%	153.91%	149.01%	109.78%	63.14%
RH2	854.45%	349.04%	560.71%	229.30%	173.46%	236.89%	149.44%	77.73%
RH3	153.65%	133.38%	182.21%	49.58%	56.59%	49.61%	47.43%	30.23%
RH4	334.26%	219.94%	541.96%	155.03%	119.68%	120.24%	79.65%	41.38%
RH5	276.38%	195.83%	495.91%	125.84%	116.90%	173.07%	83.34%	54.63%
RH6	327.89%	142.08%	318.94%	114.94%	82.06%	159.73%	44.36%	25.74%
RH7	312.52%	138.32%	152.95%	75.93%	52.06%	134.80%	23.76%	13.72%
RH8	671.18%	195.19%	270.35%	64.58%	57.09%	86.28%	-3.60%	-7.87%
RH9	1133.59%	440.61%	551.44%	241.87%	167.21%	248.78%	83.07%	79.86%
RH10	467.85%	225.31%	277.78%	95.02%	101.91%	140.84%	58.45%	36.77%
RH11	628.60%	375.59%	610.27%	168.24%	160.81%	160.65%	63.40%	55.87%
RH12	401.35%	200.87%	344.36%	84.64%	143.58%	111.92%	77.15%	54.92%
RH13	82.69%	65.92%	114.73%	30.12%	26.38%	38.78%	19.64%	11.60%
RH14	74.07%	120.35%	173.60%	44.56%	41.92%	54.52%	28.08%	4.97%
RH15	123.95%	69.09%	89.56%	22.90%	28.88%	32.13%	18.68%	6.53%
RH16	399.17%	171.90%	203.25%	96.67%	86.21%	205.80%	48.29%	42.90%
RH17	525.21%	174.30%	115.99%	53.63%	40.37%	108.83%	28.38%	22.25%

Fonte: Autor (2025)

Através da Figura 22 é perceptível como a diferença entre as áreas obtidas tende a diminuir com o passar dos anos. Isso pode ser devido a qualidade das imagens obtidas, tendo em vista as datas de lançamentos dos satélites Landsat 07 e 08 e consequentemente aumento de qualidade no processamento dos dados.

Há situações de variações mínimas entre os anos de 2000, 2005 e 2010 nas RH1 e RH11. A diminuição na altura das barras conforme o avançar do tempo indica que uma maior proximidade nos dados para os anos mais recentes, entretanto a base do GSW só disponibiliza dados até o ano de 2021 no momento o que causa uma impossibilidade de comparação até os dias atuais.

Figura 22 - Variação percentual da Área: GSW x Mapbiomas



Fonte: Autor (2025)

4.4 Monitoramento de reservatório

A Tabela 3 apresenta os coeficientes encontrados para cada reservatório, retirados das curvas traçadas das fichas técnicas disponibilizadas pela APAC. Os resultados encontrados indicam uma forte diferença entre os dados observados e calculados das imagens. Entre os oito reservatórios, em apenas dois ocorreram situações que superaram os dados observados, indicando uma subestimação das imagens GSW ou coeficientes defasados.

Tabela 4 – Coeficientes encontrados para os reservatórios

Reservatório	Alfa	K
Utinga	2,0794	0,000002
Bitá	1,6241	0,0015
Bonitinho	1,3279	0,0488
Sicupema	1,2044	2,2796
Chapéu	1,4937	0,0013
Pirapama	1,4328	0,0085
Poço da cruz	1,3564	0,0154
Serrinha II	1,3758	0,0096

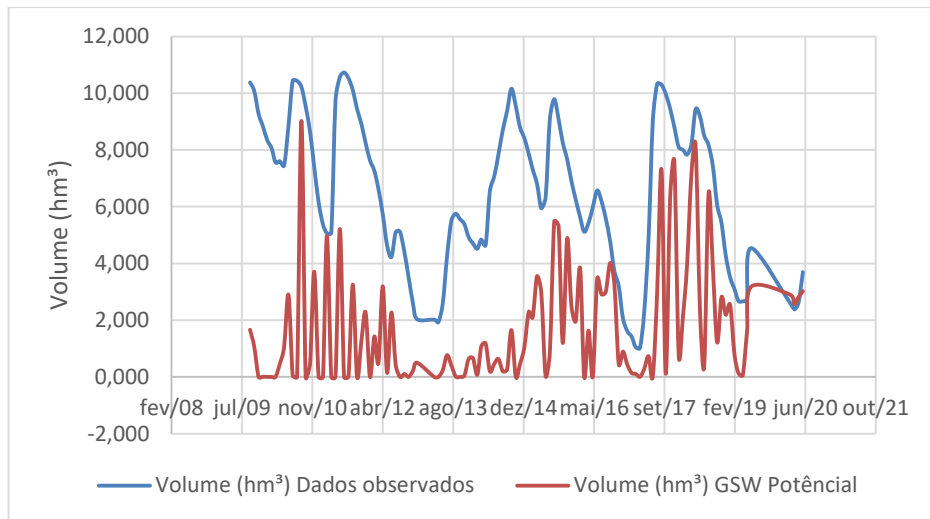
Fonte: Autor (2025)

Os resultados apresentados nas Figuras 23 à 31, demonstram uma subestimação das áreas encontradas na base do GSW, em que entre os oito reservatórios apenas 3 obtiveram valores de área calculadas maiores ou iguais aos dados observados. Os reservatórios de Utinga e Bitá, visualmente apresentam semelhanças entre as curvas comparadas.

Sicupema, Pirapama e Chapéu apresentam oscilações abrupta, que pode ser um

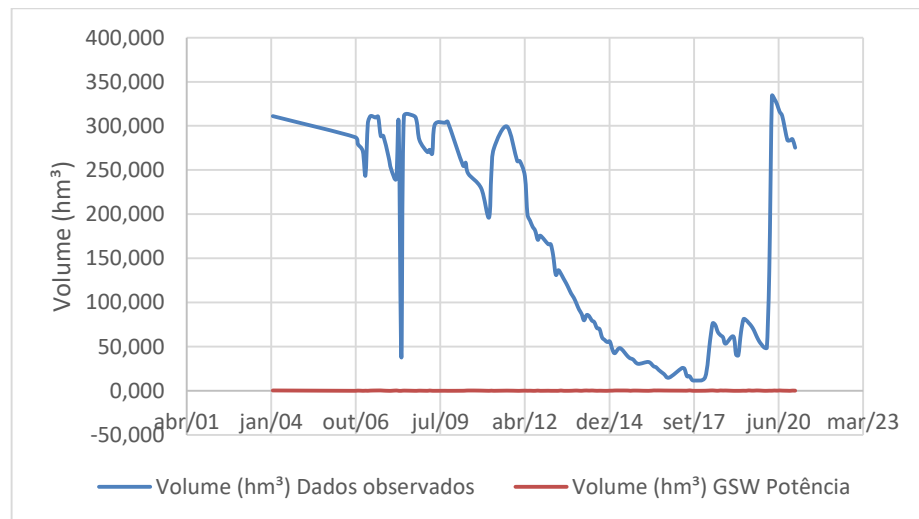
indicativo de falhas e inconsistências nas imagens do GSW, enquanto nos reservatórios Serrinha II e Poço da Cruz apresentam volumes zerados. Enquanto para os reservatório de Utinga, Bonitinho e Bita obtiveram-se valores subestimados dos volumes calculados pela equação em relação ao volumes medidos pelo sistema SAR.

Figura 23 - Curva Volume x Tempo - Utinga



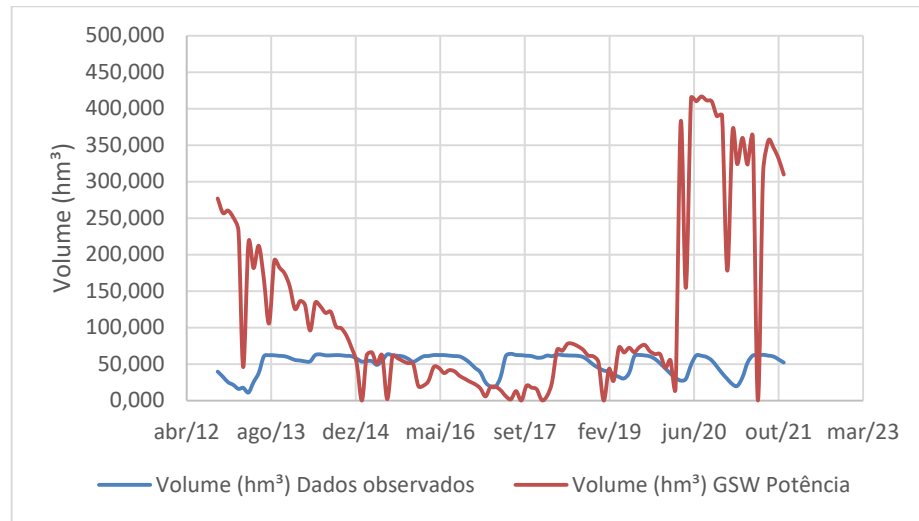
Fonte: Autor (2025)

Figura 24 - Curva Volume x Tempo - Serrinha II



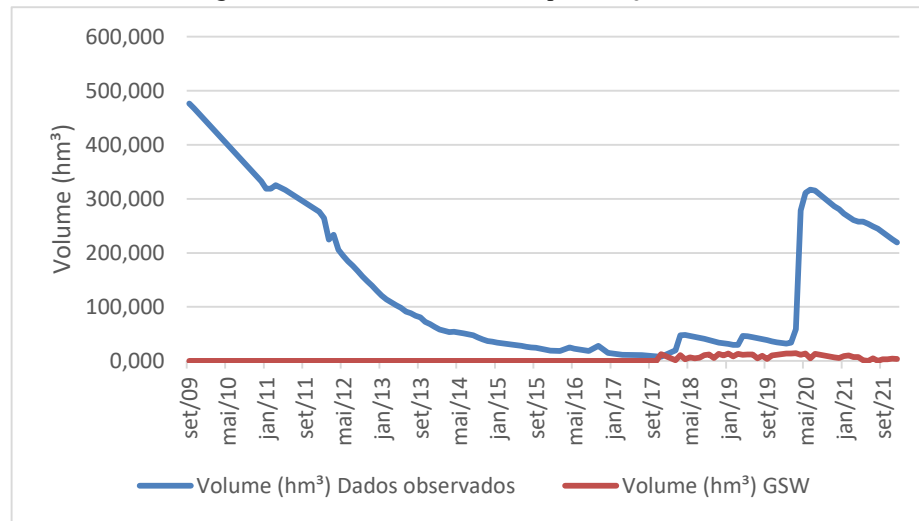
Fonte: Autor (2025)

Figura 25 - Curva Volume x Tempo - Pirapama



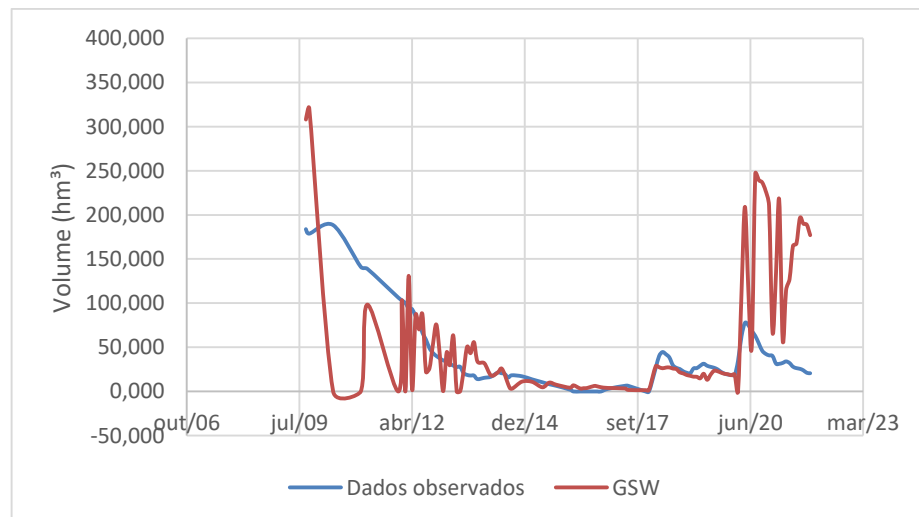
Fonte: Autor (2025)

Figura 26 - Curva Volume x Tempo – Poço da Cruz



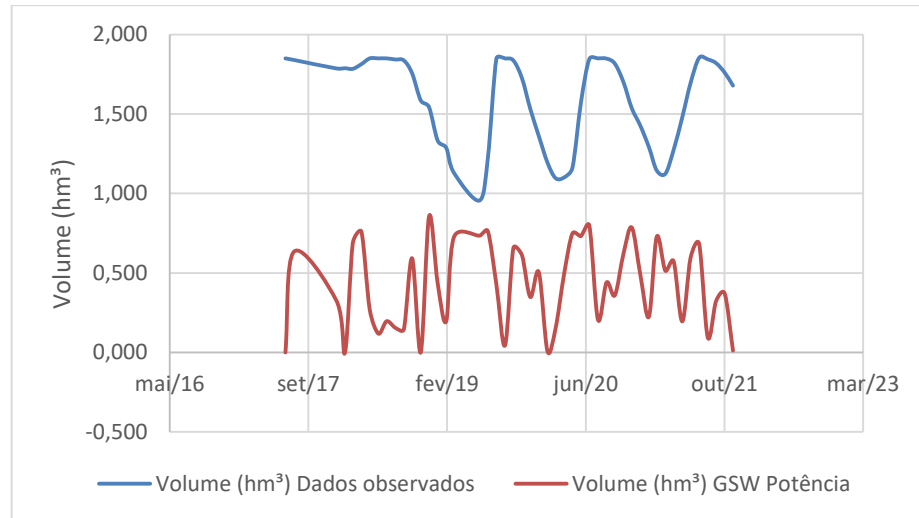
Fonte: Autor (2025)

Figura 27 - Curva Volume x Tempo – Chapeú



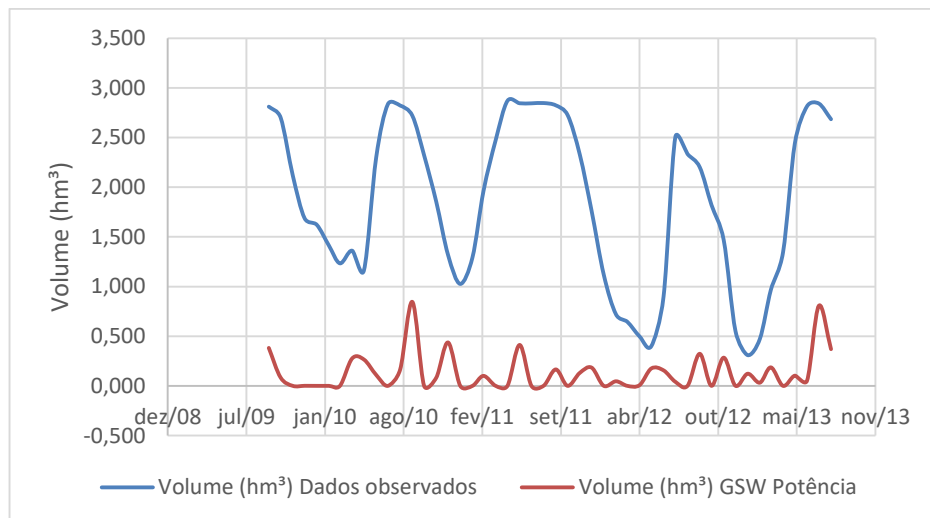
Fonte: Autor (2025)

Figura 28 - Curva Volume x Tempo - Bonitinho



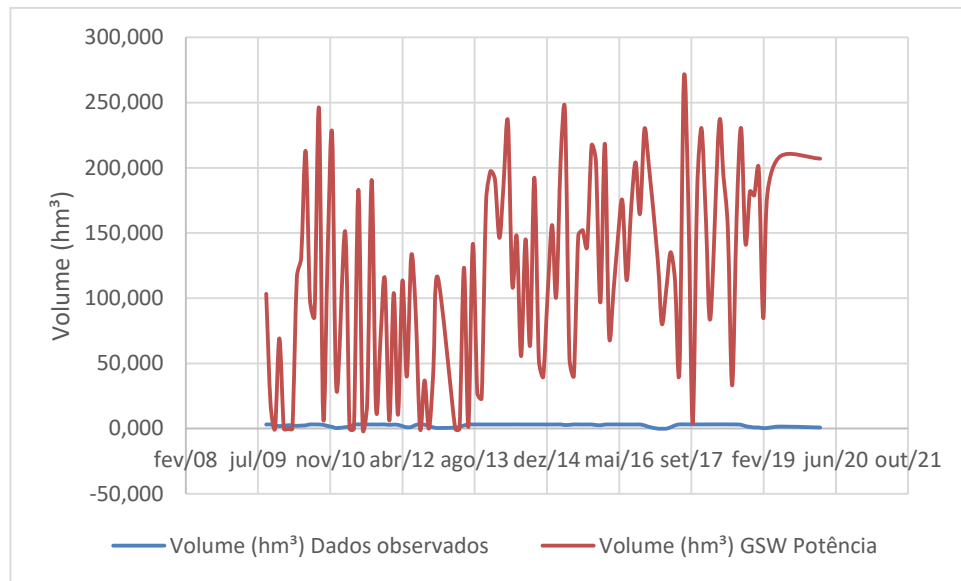
Fonte: Autor (2025)

Figura 29 - Curva Volume x Tempo – Bita



Fonte: Autor (2025)

Figura 30 - Curva Volume x Tempo – Sicupema



Fonte: Autor (2025)

5 CONCLUSÃO

Este trabalho evidenciou a relevância do uso de sensoriamento remoto e bases de dados na análise e monitoramento da superfície de água no Nordeste brasileiro. Ao comparar as bases do Global Surface Water (GSW) e do MapBiomass, observou-se que, embora ambas utilizem a mesma fonte primária (imagens Landsat), há consideráveis diferenças nos resultados obtidos, principalmente nos anos iniciais da série histórica, com subestimação da base GSW em comparação à base MapBiomass.

Os gráficos e as variações percentuais calculadas por sub-bacia permitiram identificar variações da superfície hídrica, essenciais para diagnósticos e ações de gestão dos recursos hídricos. Contudo, é importante salientar que a resolução anual, que foi utilizada neste trabalho, do MapBiomass pode limitar análises mais detalhadas da sazonalidade hídrica, o que torna o GSW uma alternativa mais adequada para estudos de curta duração e dinâmicas mensais.

Entretanto quando analisada frente à obtenção do volume armazenado em alguns dos reservatórios de Pernambuco, a base do GSW apresenta resultados não tão satisfatórios para os reservatórios estudados. São necessárias novas metodologias, buscando maneiras de utilizar as áreas superficiais dessa base no monitoramento de reservatórios de forma mais eficiente e que se aproxime dos dados observados.

Conclui-se que ambas as bases possuem potencial de apoio complementar para monitoramento de áreas superficiais, auxiliando nas tomadas de decisão em políticas de recursos hídricos. É importante a manutenção e continuidade dos programas buscando aprimoramento de seus métodos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA - Agência Nacional de Águas. **Atlas Geográfico de Recursos Hídricos do Brasil**. 2013. Disponível em: <http://portal1.snirh.gov.br/arquivos/atlasrh2013/4-II-TEXTO.pdf>. Acesso em: 06 Mar. 2025.
- BARBOSA, Antonio Helton da Silva et al. **Sensoriamento Remoto Aplicado a Análise dos Espelhos D'água dos Principais Reservatórios do Rio Grande do Norte**. In: ANAIS DO XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2019, Santos. Anais eletrônicos..., INPE, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/trabalhos/sensoriamento-remoto-aplicado-a-analise-dos-espelhos-dagua-dos-principais-reserv?lang=pt-br>. Acesso em: 06 Mar. 2025.
- BROWN, C. F. et al. **Dynamic World, near real-time global 10 m land use land cover mapping**. *Scientific Data*, v. 9, p. 251, 2022.
- CIRILO, J.; MONTENEGRO, S.; CAMPOS, J. **The issue of water in the Brazilian semi-arid region**. In: BICUDO, C.; TUNDISI, J.; SCHEUENSTUHL, M. (ed.). *Waters of Brazil*. Cham: Springer, 2017. p. 59–71.
- COSTA, Fábio Araújo da. **Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento de reservatório no semiárido do Nordeste: Poço da Cruz, Pernambuco**. 2019. 109 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Recife, 2019.
- CRIONI, Pedro Luiz Becaro. **Aplicação do Sensoriamento Remoto com imagens do satélite Sentinel-2 no estudo e validação de recursos hídricos no Brasil**. Rio Claro, 2024. 144 p. : il., tabs., mapas.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Landsat – Portal Embrapa**. 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/Landsat>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- FERREIRA, B. G. et al. **MapBiomias Água: dinâmica e tendência da superfície de água no Brasil**. In: ANAIS DO XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2023, Florianópolis. Anais eletrônicos... São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/mapbiomas-agua-dinamica-e-tendencia-da-superficie-de-agua-no-brasil?lang=pt-br>. Acesso em: 11 de abr de 2025.
- FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.
- GIROTTI, M.; RODELL, M. **Terrestrial water storage**. In: MAGGIONI, V.; MASSARI, C. (Ed.). *Extreme Hydroclimatic Events and Multivariate Hazards in a Changing Environment: A Remote Sensing Approach*. Elsevier, 2019. p. 41-64.
- HUANG, S. et al. **Monitoring Surface Water Area Changes in the Aral Sea Basin Using the Google Earth Engine Cloud Platform**. *Water*, v. 15, p. 1729, 2023. <https://doi.org/10.3390/w15091729>.
- IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. **Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]**. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- LEHNER, B.; DÖLL, P. **Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands**. *Journal of Hydrology*, v. 296, p. 1–22, 2004.
- LIEBE, J., VAN DE GIESEN, N., ANDREINI, M. **Estimation of small reservoir storage capacities in a semi-arid environment A case study in the Upper East Region of Ghana**. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30, 448–454, 2005.
- MAPBIOMAS PROJECT (MAPBIOMAS), 2025. **Collection 3 of Annual Water Surface Maps of Brazil (1985-2023)**. <https://doi.org/10.58053/MapBiomias/DY4OPD>
- MENEZES, Rebecca Borja Gonçalves Gomes de. **Análise do espelho d'água do reservatório de Sobradinho utilizando o sensoriamento remoto**. 2021. 47 f. il., gráfs., tabs. Trabalho

- de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.
- MCFEETERS, S. K. **The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features.** *International Journal Of Remote Sensing*, v. 17, n.7, p. 1425-1432, maio 1996. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431169608948714>.
- MOLLE, François. **Geometria dos Pequenos Açudes.** SUDENE, DPG. PRN. HME, 1994.126p. Recife.
- MOURA, Marina de Paula. **Uso de produtos de sensoriamento remoto para atualização de curvas cota-área-volume em reservatórios de abastecimento de água em Pernambuco.** 2021. 71 f. Mestrado em Engenharia civil, Recife, 2021.
- OLIVEIRA, M. S. de. **Avaliação das variações dos estoques de água terrestre no Nordeste brasileiro utilizando os produtos do GLDAS 2.2.** 2023. Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/56325>. Acesso em: 09 de abr de 2025.
- OLIVEIRA, M. S. de; RIBEIRO N., A.; CANDIDO, L. A.; SAEMIAN, P. **Assessing drought conditions in Northeast Brazil: A comparative analysis of soil moisture, groundwater, and total water storage.** *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 56, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101983>. Acesso em: 11 de abr de 2025.
- PEKEL, J. F.; COTTAM, A.; GORELICK, N. et al. **High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes.** *Nature*, v. 540, p. 418–422, 2016. <https://doi.org/10.1038/nature20584>.
- PEREIRA, G. R.; JUNIOR, M. M.; BARBOSA, A. H. da 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., 2019, Santos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/trabalhos/mapeamento-dos-espelhos-d-agua-de-reservatorios-da-paraiba-estudo-de-caso-da-tra?lang=pt-br>. Acesso em: 06 mar. 2025.
- 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, p. 111792, 2020.
- PROJETO MAPBIOMAS – **Mapeamento da superfície de água no Brasil (Coleção 3).** Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/agua>. Acesso em 03 fev. 2025
- RAJIB, Adnan et al. **Um apelo à consistência e integração nas estimativas globais das águas superficiais.** *Cartas de Pesquisa Ambiental*, v. 19, n. 2, p. 021002, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad1722>. Acesso em: 02 Mar. 2025.
- RODELL, M. et al. **The Global Land Data Assimilation System.** *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(3): 381-394, 2004. doi: <https://doi.org/10.1175/BAMS-85-3-381>
- RODRIGUES, L.N., LIEBE, J. **Small reservoirs depth-area-volume relationships in Savannah Regions of Brazil and Ghana.** *Water Resources and Irrigation Management*, v.2, n.1, 1-10, 2013.
- Willyan Ronaldo Becker et al. **Google earth engine como instrumento de classificação uso e cobertura do solo no município de cascavel, paraná, brasil.** In: anais do xix simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 2019, Santos. Anais eletrônicos..., INPE, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/trabalhos/google-earth-engine-como-instrumento-de-classificacao-uso-e-cobertura-do-solo-no?lang=pt-br>>. Acesso em: 18 Out. 2025.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Novo satélite permitirá ao Brasil ter mais informações hidrológicas da bacia Amazônica.** Serviço Geológico do Brasil, Brasília, 24 abr. 2024. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/w/novo-satelite-permitira-ao-brasil-ter-mais-informacoes-hidrologicas-da-bacia-amazonica>. Acesso em: 27 abr. 2025.

- SOUZA, C. M. Jr. et al. **Reconstruindo três décadas de mudanças no uso e cobertura da terra em biomas brasileiros com o Landsat Archive e o Earth Engine**. Sensoriamento Remoto, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. DOI: 10.3390/rs12172735.
- SOUZA, C. M. et al. **Long-term annual surface water change in the Brazilian Amazon Biome: Potential links with deforestation, infrastructure development and climate change**. Water. v.11, n.3, p.566, 2019
- SOUZA, Jonas Felipe Santos de. **Uso de imagens SAR e ópticas do satélite Sentinel no monitoramento de reservatórios em regiões semiárida e de mata atlântica**. 2024. [número de folhas] f. il., figs., qds., tabs. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.
- SYED, T. H. et al. **Analysis of terrestrial water storage changes from GRACE and GLDAS**. *Water Resources Research*, v. 44, n. 2, 2008.
- TULBURE, M. G. et al. **Surface water extent dynamics from three decades of seasonally continuous Landsat time series at subcontinental scale in a semi-arid region**. *Remote Sensing of Environment*, v. 178, p. 142–157, 2016.
- USGS. **Landsat 8**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/Landsat-missions/Landsat-8>. Acesso em: 30 abr. 2021.
- Xie, H, et al. **Automated subpixel surface water mapping from heterogeneous urban environments using Landsat 8 OLI imagery**. *Remote sensing*. v.8, n.7, p.584, 2016.
- XU, L.; ABBASZADEH, P.; MORADKHANI, H.; CHEN, N.; ZHANG, X. **Continental drought monitoring using satellite soil moisture, data assimilation and an integrated drought index**. *Remote Sensing of Environment*, v. 250, p. 112028, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rse>.