



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

RAMON OLIVEIRA PESSOA DA SILVA

**ANÁLISE DINÂMICA DO ESPELHO D'ÁGUA NO RESERVATÓRIO POÇO DA
CRUZ A PARTIR DE DADOS GEORREFERENCIADOS E DOS ÍNDICES
ESPECTRAIS**

Recife
2025

RAMON OLIVEIRA PESSOA DA SILVA

**ANÁLISE DINÂMICA DO ESPELHO D'ÁGUA NO RESERVATÓRIO POÇO DA
CRUZ A PARTIR DE DADOS GEORREFERENCIADOS E DOS ÍNDICES
ESPECTRAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal
de Pernambuco, como requisito parcial
para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. D.Sc. Leidjane Maria Maciel de Oliveira.

Coorientadora: M.Sc. Juliana Farias Santos de Moraes.

Recife

2025

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

SILVA, Ramon Oliveira Pessoa da.

Análise dinâmica do espelho d'água no reservatório poço da cruz a partir de dados georreferenciados e dos índices espectrais / Ramon Oliveira Pessoa da SILVA. - Recife, 2025.

56 : il., tab.

Orientador(a): Leidjane Maria Maciel de OLIVEIRA

Coorientador(a): Juliana Farias Santos de MORAES

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

Inclui referências.

1. Sensoriamento Remoto. 2. NDVI. 3. NDWI. 4. Índice de Anomalia de Chuva. 5. Semiárido. I. OLIVEIRA, Leidjane Maria Maciel de. (Orientação). II. MORAES, Juliana Farias Santos de. (Coorientação). IV. Título.

620 CDD (22.ed.)

RAMON OLIVEIRA PESSOA DA SILVA

**ANÁLISE DINÂMICA DO ESPELHO D'ÁGUA NO RESERVATÓRIO POÇO DA
CRUZ A PARTIR DE DADOS GEOREFERENCIADOS E DOS ÍNDICES
ESPECTRAIS.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal
de Pernambuco, Centro de Tecnologia e
Geociências, como requisito parcial para a
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovado em: 25/08/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. D. Sc. Leidjane Maria Maciel de Oliveira (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

M. Sc. Juliana Farias Santos de Moraes (Coorientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. D. Sc. Jose Roberto Goncalves de Azevedo (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

M. Sc. Camila Oliveira de Britto Salgueiro (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Este trabalho é dedicado à minha família que sempre acreditou em mim em toda a minha trajetória e a professora Leidjane por aceitar participar desse desafio.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente, a Deus, que me deu forças nos momentos mais difíceis e me ajudou a chegar até aqui. Sem Ele este momento não seria possível.

Agradeço a Universidade Federal de Pernambuco por esse período mais que especial na vida, lugar que me desenvolveu não só profissionalmente, mas ajudou a formar caráter e me ensinou o significado de resiliência.

Agradeço à minha família, principalmente aos meus pais por todo o amor e dedicação. Sou grato também por prover sempre o melhor para mim, permitindo que eu me dedicasse ao máximo ao curso durante esse período.

Agradeço a Professora Leidjane por todo o amor, dedicação e empenho em sempre preparar os melhores materiais e aulas, além de todo o conhecimento transmitido, fazendo com que o difícil pareça fácil e fazendo com que eu me apaixonasse por uma área que, até então, eu desconhecia. Agradeço também a sua aluna e minha coorientadora Juliana, por todo o apoio prestado neste trabalho.

Agradeço a Gabriela Frej, minha namorada, por seu apoio nos estudos e por sempre acreditar em mim, mesmo quando achei que não conseguiria. Sem você esse momento não teria acontecido.

Agradeço a todos os Mestres e Doutores da Universidade Federal de Pernambuco que participaram da minha caminhada ao longo do curso, pelos conhecimentos transmitidos nas mais diversas áreas da Engenharia Civil. A vocês, minha eterna gratidão.

Agradeço aos meus amigos pelo apoio, pelas boas companhias e todo o carinho. Aos meus amigos da escola de engenharia pela companhia ao longo de toda essa jornada.

Agradeço aos amigos da TPF, com quem compartilho minha rotina há mais de 2 anos por me formar como profissional capacitado. Que venham momentos memoráveis pela frente.

Agradeço também aos membros da banca avaliadora, por participarem da defesa desta monografia, contribuindo com a minha formação acadêmica.

E agradeço a todas as pessoas que, em algum momento, fizeram parte da minha vida e contribuíram para que eu fosse quem sou hoje.

A todos vocês, a minha eterna gratidão.

RESUMO

O presente estudo analisa a dinâmica espaço-temporal do espelho d'água e da vegetação no entorno do reservatório Poço da Cruz, localizado no semiárido pernambucano, a partir da comparação entre um cenário de seca extrema (2013) e um de chuva extrema (2020). A abordagem metodológica integrou o Índice de Anomalia de Chuva (IAC), obtido a partir de séries históricas pluviométricas, com dados de Sensoriamento Remoto provenientes de imagens do satélite Landsat 8, utilizados para o cálculo dos índices espectrais NDWI e NDVI. Os resultados evidenciaram contrastes climáticos marcantes, com o ano de 2013 classificado como “Extremamente Seco” e 2020 como “Extremamente Chuvoso”, refletindo diretamente nas respostas biofísicas do ambiente. Observou-se uma expressiva expansão da área do espelho d'água, que passou de 9,418 km² para 31,922 km², correspondendo a um aumento de aproximadamente 239%. Paralelamente, o NDVI indicou significativa recuperação do vigor vegetativo, evidenciando a alta sensibilidade da Caatinga às variações pluviométricas. A análise integrada dos índices demonstrou forte correlação entre as anomalias de precipitação e a dinâmica da superfície hídrica e da vegetação, confirmando a eficácia da metodologia proposta. Destaca-se, portanto, o potencial do uso combinado de indicadores climáticos e espectrais como ferramenta robusta para o monitoramento ambiental e para o suporte à gestão de recursos hídricos em regiões semiáridas.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; NDVI; NDWI; Índice de Anomalia de Chuva; Semiárido.

ABSTRACT

This study investigates the spatio-temporal dynamics of the water surface and surrounding vegetation of the Poço da Cruz reservoir, located in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil, by comparing two contrasting climatic scenarios: an extremely dry year (2013) and an extremely rainy year (2020). The methodology integrates the Rainfall Anomaly Index (RAI), derived from historical rainfall data, with Remote Sensing data from Landsat 8 imagery to compute the Normalized Difference Water Index (NDWI) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The results revealed pronounced climatic contrasts, with 2013 classified as “Extremely Dry” and 2020 as “Extremely Rainy”, directly influencing the environmental response. A substantial expansion of the water surface was observed, increasing from 9.418 km² to 31.922 km², representing a growth of approximately 239%. Simultaneously, NDVI values indicated a significant recovery in vegetation vigor, highlighting the high responsiveness of Caatinga vegetation to rainfall variability. The integrated analysis demonstrated a strong correlation between precipitation anomalies and both water surface dynamics and vegetation behavior, confirming the robustness and reliability of the proposed approach. These findings reinforce the potential of combining climatic and spectral indices as an effective tool for environmental monitoring and decision-making in water resource management in semi-arid regions.

Keywords: Remote Sensing; NDVI; NDWI; Rainfall Anomaly Index; Semiarid.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – IMAGEM DO LANDSAT 8 – OLI.....	14
FIGURA 2 – FLUXOGRAMA COM AS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.	20
FIGURA 3 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO COM RECORTE NA BACIA DO RIO MOXOTÓ – PE E DO RESERVATÓRIO POÇO DA CRUZ.	21
FIGURA 4 – RESERVATÓRIO POÇO DA CRUZ, EM JANEIRO/2023.	22
FIGURA 5 – IMAGEM NO ESTADO DE PERNAMBUCO EM 10/10/2013.....	24
FIGURA 6 – FLUXOGRAMA COM AS ETAPAS DE PROCESSAMENTO.	25
FIGURA 7 – APLICAÇÃO DA CALCULADORA RASTER NO QGIS.	27
FIGURA 8 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS.	28
FIGURA 9 – PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL – IBIMIRIM (1994-2024).	29
FIGURA 10 – PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL – ARCOVERDE (1994-2024).....	29
FIGURA 11 – PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL – TACARATU (1994-2024).....	30
FIGURA 12 – PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL – INAJÁ (1994-2024).	30
FIGURA 13 – MÉDIA HISTÓRICA MENSAL – IBIMIRIM (1994-2024).....	31
FIGURA 14 – DADOS PLUVIOMÉTRICOS DOS ANOS 2013 E 2020 – IBIMIRIM.....	31
FIGURA 15 – VALORES DE IAC DOS ANOS 1994 A 2024 – ARCOVERDE.	32
FIGURA 16 – VALORES DE IAC DOS ANOS 1994 A 2024 – TACARATU.....	33
FIGURA 17 – VALORES DE IAC DOS ANOS 1994 A 2024 – INAJÁ.	34
FIGURA 18 – VALORES DE IAC DOS ANOS 1994 A 2024 – IBIMIRIM.....	35
FIGURA 19 – ÍNDICE ESPECTRAL NDWI, APLICADO NO RESERVATÓRIO POÇO DA CRUZ – IBIMIRIM.	37
FIGURA 20 – ÍNDICE ESPECTRAL NDVI, APLICADO NO RESERVATÓRIO POÇO DA CRUZ – IBIMIRIM.	39
FIGURA 21 – NDWI – PERFIL LONGITUDINAL DO RESERVATÓRIO POÇO DA CRUZ.	41
FIGURA 22 – NDVI – PERFIL LONGITUDINAL DO RESERVATÓRIO POÇO DA CRUZ.	43
FIGURA 23 – CENÁRIOS PARA QUANTIFICAÇÃO DO ESPELHO D'ÁGUA.	45

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TABELA DE INFORMAÇÕES DO LANDSAT 8 – OLI.	15
TABELA 2 – CLASSES DE INTENSIDADE DO ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA.	23
TABELA 3 – PERCENTUAL DE FALHAS DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS	28
TABELA 4 – DADOS ESTATÍSTICOS DO PARÂMETRO NDWI DOS ANOS 2013 E 2020.	39
TABELA 5 – DADOS ESTATÍSTICOS DO PARÂMETRO NDVI DOS ANOS 2013 E 2020.	40
TABELA 6 – COMPARAÇÃO ENTRE AS ÁREAS SUPERFICIAIS PARA OS ANOS ANALISADOS PARA O RESERVATÓRIO POÇO DA CRUZ.	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
IAC	Índice de Anomalia de Chuva
IAF	Índice de Área Foliar
IE	Índice Espectral
MNDWI	Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NDWI	Índice de Água por Diferença Normalizada
NIR	Infravermelho Próximo
OLI	Operational Land Imager
REM	Radiação Eletromagnética
SAVI	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
SR	Sensoriamento Remoto
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TVDI	Índice de Ressecamento da Vegetação
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVOS	10
1.1.1	Objetivo Geral	10
1.1.2	Objetivos Específicos	11
1.2	JUSTIFICATIVAS	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	SENSORIAMENTO REMOTO	12
2.2	LANDSAT-8 OLI	13
2.3	ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA (IAC)	16
2.4	ÍNDICES ESPECTRAIS	17
2.4.1	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	18
2.4.2	Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI)	19
3	METODOLOGIA	19
3.1	ÁREA DE ESTUDO	20
3.2	RESERVATÓRIO POÇO DA CRUZ	21
3.3	ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA (IAC)	22
3.4	ESCOLHA, AQUISIÇÃO E PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS	23
3.4.1	Escolha e Aquisição Das Imagens	23
3.4.2	Pré-Processamento Das Imagens	24
3.5	PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS	25
3.5.1	Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI)	26
3.5.2	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1	DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PARA OS ANOS ESTUDADOS	28
4.2	ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA (IAC)	32
4.3	CARTAS GEORREFERENCIADAS DOS ÍNDICES NDWI E NDVI	37
4.4	PERFIS LONGITUDINAIS DOS ÍNDICES NDWI E NDVI	41
4.5	ÁREA DA LÂMINA D'ÁGUA DO RESERVATÓRIO	44
5	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

O clima do semiárido nordestino é caracterizado por uma grande variabilidade pluviométrica, com ocorrência de eventos extremos, como secas prolongadas e chuvas intensas e repentinas, tanto no tempo quanto no espaço (Nascimento, 2021; Marengo, 2011). Contudo, apesar dessas adversidades climáticas, a região é uma das mais populosas do mundo com essas características, enfrentando desafios estruturais significativos para seu desenvolvimento socioeconômico. Diante disso, fazem-se necessários estudos que avaliem suas características climáticas, assim como analisem o impacto das mudanças climáticas no contexto atual da região.

O Sensoriamento Remoto (SR) é uma das ferramentas presentes em estudos da problemática em regiões de incidência de secas. Esta técnica consiste, dentre diversas utilizações, em detectar variações na cobertura do solo e presença de corpo hídrico, através de parâmetros biofísicos proporcionando diagnósticos e gerenciamento socioambiental (Bacalhau *et al.*, 2017). A aplicação das técnicas de Sensoriamento Remoto tem sido amplamente empregadas para monitorar e mapear os recursos naturais, possibilitando uma visão holística da área investigada e servindo como instrumento de análise na alteração dinâmica da paisagem (Jensen, 2011).

Nas aplicações do SR, pesquisadores desenvolveram índices espectrais para monitorar e qualificar as condições e distribuições de alvos distintos, como cobertura vegetal, geologia, recursos hídricos, ambientes construídos e outras feições na superfície terrestre (Bezerra *et al.*, 2019).

O Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) é um método desenvolvido por McFeeters (1996) com o intuito de delinear feições na água presentes no ambiente e realçar a presença delas na imagem digital obtida por Sensoriamento Remoto. Dessa forma, enquanto o NDWI realça a presença de água na região, outros índices espectrais, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), criado por Rouse *et al.* (1974), aplica-se na identificação de áreas verdes ou em áreas em que a presença de vegetação é escassa.

Destaca-se também a importância do Índice de Anomalia de Chuva (IAC), um método que contribui para monitoramento climático e da variabilidade pluviométrica de uma determinada região, auxilia no planejamento agrícola e gerenciamento dos recursos hídricos, sendo assim, essencial nas medidas de adaptação, mitigação e tomada de decisão. O impacto social da seca, nem sempre está relacionado à falta

de chuvas em um determinado ano, mas também à distribuição e frequência das chuvas (Silva Júnior et al., 2024). Anos classificados como secos em sequência, podem gerar problemas socioeconômicos mais graves do que um ano apenas de seca severa, já que este ano pode estar associado à anos com chuvas regulares (Pereira et al., 2017).

O monitoramento do reservatório Poço da Cruz por meio de geotecnologias já demonstrou resultados relevantes para a gestão hídrica regional. Almeida *et al.* (2023) analisaram a dinâmica da área hídrica desse reservatório entre 2015 e 2020, utilizando imagens do sensor OLI do satélite Landsat-8 e o Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado (MNDWI). Os autores verificaram uma forte correlação espacial entre a delimitação da superfície de água e os dados de precipitação estimados pelo produto CHIRPS, confirmando a eficácia do sensoriamento remoto na identificação de períodos de estresse hídrico e de recuperação volumétrica no semiárido brasileiro.

Portanto, diante do exposto, a combinação do IAC com indicadores espectrais oriundos do Sensoriamento Remoto desponta como estratégia relevante para antecipar cenários de escassez hídrica e respaldar políticas públicas de convivência sustentável com o semiárido, como no entorno do reservatório Poço da Cruz, localizado em Ibimirim, Pernambuco. Dessa forma, realiza-se o estudo em questão, visando avaliar o comportamento da escassez hídrica nesta localidade.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Comparar as alterações espaço-temporais da superfície do espelho d'água do reservatório Poço da Cruz – PE, bem como o comportamento espectral do vigor vegetativo, utilizando imagens georreferenciadas do satélite Landsat-8, através dos índices espectrais NDWI e NDVI, com as anomalias de precipitação classificadas pelo IAC para os anos de 2013 e 2020.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Calcular o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para a série histórica da região e classificar os anos de 2013 e 2020 quanto à sua severidade climática, com base nos dados pluviométricos da APAC e da ANA;
- b) Mapear e quantificar a variação da área do espelho d'água do reservatório Poço da Cruz utilizando o índice NDWI como delineador de corpos hídricos;
- c) Analisar a variação na densidade e no vigor da cobertura vegetal na bacia de contribuição do reservatório utilizando o índice NDVI;
- d) Correlacionar e discutir os resultados dos índices pluviométricos (IAC) e espectrais (NDWI, NDVI), avaliando a sensibilidade e a resposta do ambiente às condições de seca e chuva extrema identificadas.

1.2 JUSTIFICATIVAS

Os índices espectrais são ferramentas fundamentais na análise de superfícies de forma remota, permitindo a obtenção de dados do meio ambiente através de imagens de satélite. O NDWI tem se destacado no monitoramento do estresse hídrico em ambiente semiárido, pois as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio são altamente correlacionadas com o conteúdo de água do dossel vegetal, conseguindo acompanhar melhor a estimativa da quantidade de água (Oliveira *et al.*, 2010).

Ademais, o NDVI tem se destacado de forma significativa, em virtude de ser um dos mais relevantes indicadores para a análise da cobertura de vegetação em diferentes períodos utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto. Uma das justificativas dessa ascensão no meio científico é que a utilização desse índice permite a monitoração de mudanças temporais de determinadas atividades, além de analisar o estágio de crescimento da vegetação juntamente com as mudanças na cobertura do solo causadas por atividades antrópicas, assim como seu desenvolvimento (Soares *et al.*, 2020).

Por fim, o IAC, desenvolvido por Rooy (1965), é caracterizado como simples e bastante efetivo nos estudos de variabilidade espaço-temporal da precipitação e de seus extremos (Sena *et al.*, 2017). Com isso, o IAC facilita a realização de comparações do regime pluviométrico de determinado local ou região, baseado em

dados históricos que sistematizam as precipitações, além de designar características da variabilidade e tendências pluviométricas (Araújo et al., 2007; Marcuzzo; Melo; Rocha, 2011; Sanches; Verdum; Fisch, 2014; Nascimento, 2021).

A motivação para este estudo é validar a interação entre o Índice de Anomalia de Chuvas (IAC), que reflete a causa, e os indicadores biofísicos derivados de SR (NDWI e NDVI), que refletem a resposta da água e da vegetação. Compreender como os extremos de chuva se traduzem em disponibilidade de água em reservatórios e na saúde do ecossistema é essencial para um planejamento hídrico proativo e adaptativo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos que sustentam a pesquisa, abordando os princípios do Sensoriamento Remoto, as características do satélite Landsat 8, e as definições e formulações dos índices IAC, NDWI e NDVI.

2.1 SENSORIAMENTO REMOTO

O Sensoriamento Remoto é definido como o conjunto de técnicas que permite a obtenção de informações sobre alvos na superfície terrestre — sejam eles objetos, áreas ou fenômenos — sem que haja contato físico entre o sensor que realiza a medida e o alvo estudado (Novo, 2010). Esta ciência fundamenta-se na captação e no registro da energia eletromagnética que é refletida ou emitida por um alvo, após interagir com uma fonte de energia, que, em sistemas passivos, é predominantemente o Sol (Jensen, 2009).

A interação da radiação eletromagnética (REM) com a matéria é governada por suas propriedades físicas e químicas, resultando em uma "assinatura espectral", que é o padrão de reflectância de um alvo em diferentes comprimentos de onda. Por exemplo, a vegetação saudável absorve fortemente a radiação na faixa do visível para a fotossíntese e reflete fortemente na faixa do infravermelho próximo (NIR). A água, por outro lado, absorve a maior parte da radiação incidente, especialmente em comprimentos de onda mais longos como o NIR, e reflete mais na faixa do visível (Novo, 2010).

A aplicação do Sensoriamento Remoto para o monitoramento de sistemas hídricos é um campo consolidado, oferecendo uma ferramenta robusta para o mapeamento de áreas inundadas, a estimativa da área superficial de reservatórios e a avaliação de parâmetros de qualidade da água em larga escala, superando as limitações logísticas e de custo das redes de monitoramento puramente terrestres (Barbosa; Novo, 2018).

Uma das formas mais viáveis para quantificar a variação sazonal de corpos hídricos é a utilização de imagens orbitais obtidas por sensoriamento remoto. Segundo Almeida *et al.* (2023), essa técnica tem avançado consideravelmente nos últimos anos, permitindo a aquisição de informações mais precisas e detalhadas para identificar e classificar alvos na superfície terrestre. No contexto hídrico, a aplicação desses dados é fundamental para avaliar mudanças na dinâmica das águas superficiais, oferecendo suporte essencial para a gestão de recursos hídricos e para a tomada de decisões em regiões semiáridas sujeitas a eventos de seca.

2.2 LANDSAT-8 OLI

O sensor OLI (Operational Land Imager), embarcado no satélite Landsat 8, representa um importante avanço no Sensoriamento Remoto, especialmente na análise ambiental de bacias hidrográficas. Este sensor capta imagens multiespectrais com 30 metros de resolução espacial para nove bandas espectrais, além de uma banda pancromática com 15 metros, possibilitando uma gama ampla de análises ambientais (Souza, 2017).

O programa Landsat, uma colaboração contínua entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e o USGS (*United States Geological Survey*), representa o mais longo registro de observação da Terra a partir do espaço, com início em 1972. A política de dados abertos e gratuitos, implementada em 2008, democratizou o acesso às suas imagens, impulsionando exponencialmente a pesquisa científica global (NASA, 2025)

Figura 1 – Imagem do LANDSAT 8 – OLI.



Fonte: USGS (2025).

Lançado em 11 de fevereiro de 2013, o satélite Landsat 8 marcou um avanço significativo na série, embarcando dois sensores: o OLI (*Operational Land Imager*) e o TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) (USGS, 2019). O sensor OLI se destaca por melhorias substanciais em relação aos seus predecessores, como: Melhor Relação Sinal-Ruído (SNR) e maior Resolução Radiométrica (USGS, 2019)

As especificações técnicas do sensor OLI, essenciais para este trabalho, são detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Tabela de informações do LANDSAT 8 – OLI.

Sensor	Bandas Espectrais (OLI)	Comprimento de Onda (µm)	Resolução Espacial (m)
OLI (Operational Land Imager)	B1 – Coastal Aerosol	0.43 – 0.45	30
	B2 – Azul	0.45 - 0.51	
	B3 – Verde	0.53 – 0.59	
	B4 – Vermelho	0.64 – 0.67	
	B5 – Infravermelho Próximo	0.85 – 0.88	
	B6 – Infravermelho Médio	1.57 – 1.65	
	B7 – Infravermelho Médio	2.11 – 2.29	15
	B8 – Pancromática	0.50 – 0.68	
	B9 – Cirrus	1.36 – 1.38	
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	B10 – LWIR 1	10.30 – 11.30	100
	B11 – LWIR 2	11.50 – 12.50	

Fonte: USGS (2025).

Além disso, o uso do Landsat-8 OLI permite estimativas de diversos índices biofísicos, como o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), NDWI (Índice de Diferença Normalizada da Água), SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo) e TVDI (Índice de Ressecamento da Vegetação), que são fundamentais para o monitoramento do uso e cobertura do solo, variações sazonais e condições hídricas da vegetação (Souza, 2017). Tais índices são sensíveis às variações climáticas e revelam padrões importantes para a compreensão dos impactos ambientais nas bacias hidrográficas, como observado no estudo da bacia do rio Una, em Ibiúna-SP, onde imagens de janeiro e agosto de 2015 evidenciaram variações expressivas nas respostas espectrais da vegetação devido à sazonalidade (Souza, 2017).

Outro exemplo do uso do Landsat-8 OLI é a estimativa da concentração de sedimentos em suspensão, cuja aplicação de modelos matemáticos sobre imagens

orbitais permitiu identificar variações espaciais e temporais dos sedimentos, sem a necessidade de coletas contínuas em campo, reduzindo custos operacionais e otimizando o monitoramento ambiental (Oliveira, 2018).

Dessa forma, o sensor Landsat-8 OLI é uma tecnologia consolidada para o acompanhamento de transformações ambientais em bacias hidrográficas. Sua capacidade de gerar dados consistentes ao longo do tempo o torna fundamental para o planejamento e a gestão sustentável dos recursos naturais.

2.3 ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA (IAC)

O Índice de Anomalia de Chuva (IAC), desenvolvido por Rooy (1965), também conhecido na literatura internacional como *Rainfall Anomaly Index* (RAI), constitui uma ferramenta estatística aplicada na climatologia com o objetivo de identificar e quantificar desvios na precipitação em relação à média histórica (Araújo et al., 2007; Cury et al., 2018). O IAC classifica os períodos analisados em extremos chuvosos ou secos, permitindo visualizar tendências climáticas e contribuir com o planejamento territorial e a gestão ambiental (Cury et al., 2018; Patriota, 2024).

Por se tratar de um índice de simples cálculo e alta aplicabilidade, que depende apenas de séries históricas de dados pluviométricos, o IAC tem sido amplamente utilizado em estudos climatológicos regionais no Brasil, possibilitando análises quantitativas da severidade, duração e frequência de eventos extremos (Rocha et al., 2024; Assis et al., 2019; Silva Júnior et al., 2024).

O índice é calculado a partir das médias anuais de precipitação e da comparação com as médias de anos considerados chuvosos e secos, resultando em um valor adimensional que permite a padronização da análise temporal. Segundo Rodrigues e Lima (2024), o uso do IAC possibilitou identificar uma mudança no padrão de chuvas na sub-bacia do rio Sucuru (PB), com predomínio de anos chuvosos até 2011 e predominância de seca entre 2012 e 2019.

Da mesma forma, Rocha et al. (2024) aplicaram o índice na bacia hidrográfica do rio Cachoeira (BA), entre 1992 e 2022, revelando uma alternância decadal entre períodos secos e úmidos, além de uma forte correlação entre os altos valores de IAC e a ocorrência de desastres hidrológicos.

Diversos estudos aplicaram o IAC em bacias hidrográficas com diferentes características ambientais, revelando sua adaptabilidade metodológica. Na bacia do

rio Urussanga (SC), por exemplo, o índice permitiu identificar os anos com maior variação pluviométrica ao longo de um período de 37 anos, subsidiando o planejamento ambiental local (Cury et al., 2018).

Na bacia do rio Pajeú (PE), Patriota (2024) correlacionou o IAC com o Índice de Vegetação Melhorado (EVI-2), obtido por Sensoriamento Remoto, demonstrando uma forte associação entre os padrões de precipitação e o vigor vegetativo, com um coeficiente de correlação de 0,77. Esse tipo de análise é especialmente útil em regiões semiáridas, onde a variabilidade pluviométrica afeta diretamente o uso da terra e a produtividade agrícola.

Além disso, o IAC tem sido utilizado como instrumento de alerta para a gestão de riscos, como evidenciado por Rocha et al. (2024), que relacionaram valores extremos do índice com desastres naturais registrados no sul da Bahia, entre eles inundações e deslizamentos.

O uso do IAC pode fornecer subsídios importantes para a formulação de políticas públicas voltadas à adaptação climática, gestão de recursos hídricos e mitigação de riscos naturais. Sua aplicação em diferentes escalas geográficas, aliado ao cruzamento com indicadores ambientais e socioeconômicos, permite identificar áreas críticas e orientar ações de planejamento (Silva et al., 2020; Rocha et al., 2024).

Ademais, o índice pode ser uma ferramenta de fácil compreensão e visualização para gestores públicos e comunidades locais, favorecendo o desenvolvimento de estratégias de convivência com a variabilidade climática, sobretudo em regiões suscetíveis aos impactos das mudanças no regime de chuvas.

2.4 ÍNDICES ESPECTRAIS

Os índices espectrais constituem ferramentas fundamentais na análise de dados de Sensoriamento Remoto, permitindo a avaliação de diversas características biofísicas da vegetação por meio de combinações matemáticas de bandas espectrais obtidas por sensores ópticos. Com o avanço das tecnologias de Sensoriamento Remoto, os IEs tornaram-se indispensáveis para o monitoramento de ecossistemas vegetais, como florestas, áreas agrícolas e, mais recentemente, ecossistemas costeiros como os manguezais (Xue; Su, 2017; Tran et al., 2022).

Tais ferramentas constituem expressões algébricas baseadas em bandas espectrais específicas, normalmente nas faixas do vermelho, infravermelho próximo

(NIR), verde e azul, que visam realçar características da vegetação, como vigor, biomassa, teor de clorofila, índice de área foliar (LAI) e estresse hídrico (Xue; Su, 2017).

A integração entre os índices NDVI e NDWI tem se mostrado eficaz em estudos ambientais, sobretudo naqueles voltados à caracterização de ecossistemas frágeis, como os presentes no Semiárido nordestino. A análise conjunta permite observar a correlação entre a densidade vegetacional e a disponibilidade hídrica superficial, o que contribui para diagnósticos mais robustos sobre a saúde ambiental e a sustentabilidade do uso da terra (Costa Neto et al., 2023).

2.4.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi proposto por Rouse et al. (1973), com valores de NDVI variando entre -1 e 1. Valores próximos de 1 indicam vegetação densa e saudável, enquanto valores negativos sugerem a presença de corpos d'água ou solos expostos (Galvêncio, 2019; Costa Neto et al., 2023).

O NDVI é um dos principais índices utilizados para avaliar a cobertura vegetal e seu vigor ao longo do tempo, sendo amplamente empregado na detecção de variações sazonais, impactos ambientais e mudanças no uso da terra. Sua sensibilidade às características fisiológicas da vegetação, como teor de clorofila e estrutura foliar, faz com que seja uma ferramenta eficiente no acompanhamento de áreas agrícolas, florestais e de preservação ambiental (Costa Neto et al., 2023).

Estudos recentes têm aplicado o NDVI para monitorar regiões semiáridas, onde a vegetação é diretamente influenciada pela variabilidade hídrica. Silva e Souza (2024), ao analisarem a Chapada do Araripe (CE), observaram que áreas com alta resiliência hídrica apresentaram valores de NDVI significativamente maiores mesmo em anos com baixa precipitação, demonstrando a importância do índice na identificação de áreas úmidas resilientes.

Além disso, o NDVI também foi utilizado por Costa Neto et al. (2023) na bacia hidrográfica do Rio Brígida, Sertão Pernambucano. Os autores observaram que a variação temporal do índice refletiu com precisão a dinâmica vegetacional da região, destacando períodos de maior crescimento vegetal durante as estações chuvosas. Os

resultados indicaram que o NDVI possui forte correlação com dados pluviométricos e com o NDWI, revelando o potencial de análise integrada para estudos ambientais.

2.4.2 Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI)

O NDWI foi desenvolvido para detectar áreas com conteúdo hídrico elevado, sendo especialmente útil na delimitação de corpos d'água, monitoramento de secas e mapeamento de áreas alagáveis. O índice tem como principal vantagem a capacidade de atenuar os efeitos da vegetação e realçar as massas d'água, tornando-se uma alternativa eficaz em estudos que envolvem recursos hídricos (McFeeters, 1996; Xu, 2006).

Hossain et al. (2024) aplicaram o NDWI e o MNDWI (versão modificada do índice) na análise morfodinâmica dos rios Padma e Meghna, em Bangladesh, e identificaram áreas de erosão e deposição fluvial, revelando alterações significativas na largura dos canais ao longo do tempo. A combinação do NDWI com imagens de satélite permitiu a avaliação da evolução do traçado dos rios e forneceu subsídios relevantes para o planejamento de gestão hídrica em zonas de risco.

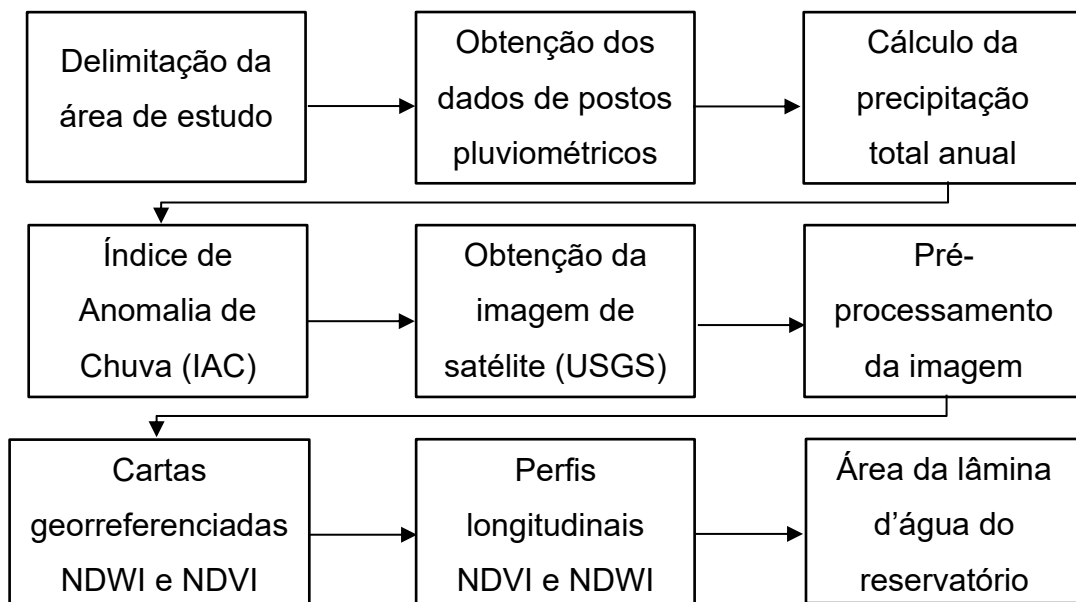
No estudo de Farias et al. (2024), a aplicação do NDWI no Açude Poço da Cruz, em Ibimirim – PE, permitiu identificar variações significativas na extensão da lâmina d'água entre os anos analisados. As imagens processadas evidenciaram aumento expressivo da área inundada em relação ao período inicial, refletindo mudanças nas condições hídricas do reservatório. Além da detecção da variação espacial, o índice possibilitou distinguir claramente as áreas de água das áreas de vegetação e solo exposto, demonstrando a eficácia do NDWI para o monitoramento de corpos hídricos em regiões semiáridas. Esses resultados reforçam a utilidade das geotecnologias como ferramenta de apoio à gestão e preservação dos recursos hídricos em Pernambuco.

3 METODOLOGIA

No fluxograma da Figura 2, foi descrita a metodologia adotada, a delimitação da área de estudo e o processo de desenvolvimento desta pesquisa. Inicialmente, realizou-se a delimitação da área de estudo, seguida da obtenção de dados de precipitação provenientes de postos pluviométricos, utilizados para o cálculo da

precipitação total anual e do Índice de Anomalia de Chuva (IAC). Paralelamente, foram adquiridas imagens de satélite (USGS), que passaram por etapas de pré-processamento. A partir dessas imagens, foram geradas cartas georreferenciadas dos índices NDVI e NDWI, bem como perfis longitudinais desses índices. Por fim, foi estimada a área da lâmina d'água do reservatório, permitindo a análise integrada entre variáveis climáticas e condições da superfície.

Figura 2 – Fluxograma com as etapas de desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: O Autor (2025).

3.1 ÁREA DE ESTUDO

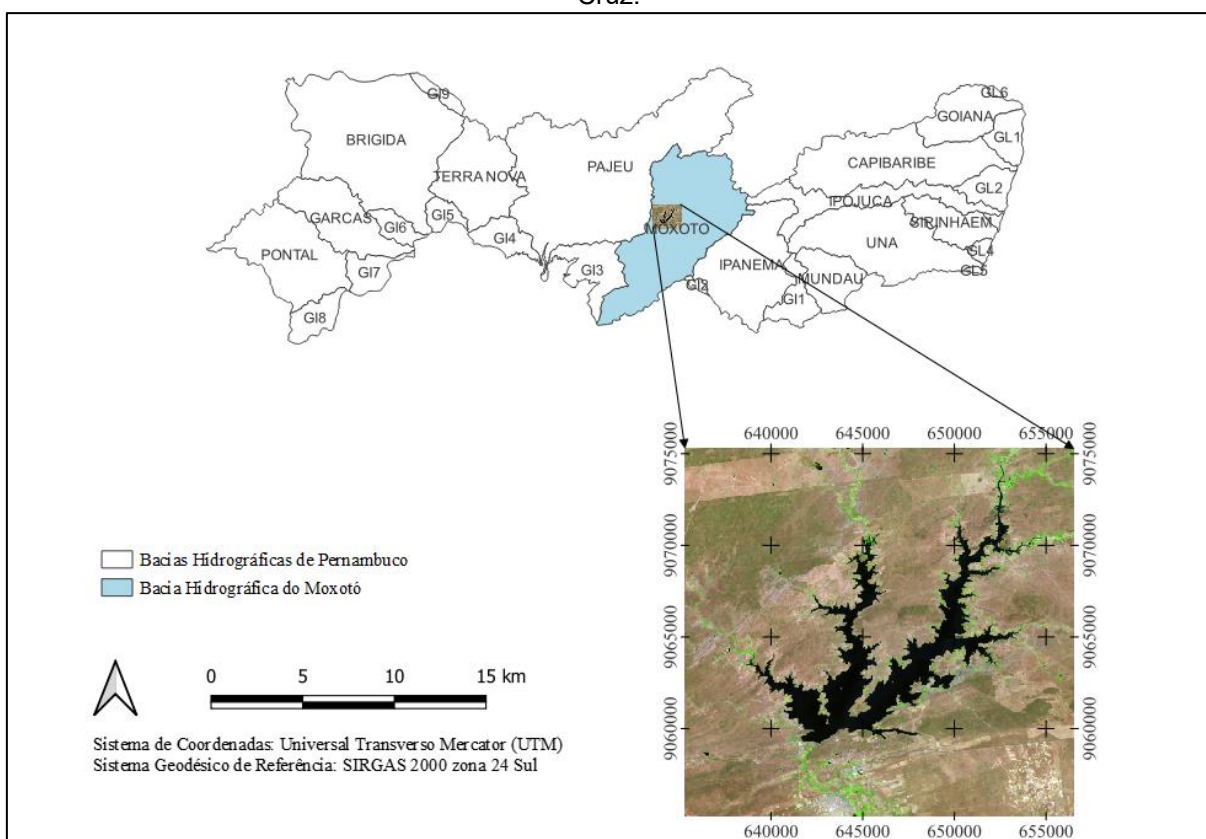
A bacia hidrográfica do rio Moxotó está situada, em sua maior parte, no Estado de Pernambuco, estendendo-se na sua porção sudeste para o Estado de Alagoas até o rio São Francisco. A bacia se localiza entre 07° 52' 21" e 09° 19' 03" de latitude sul, e entre 36° 57' 49" e 38° 14' 41" de longitude oeste, com sua porção pernambucana constituindo a Unidade de Planejamento Hídrico UP8.

A UP8 limita-se: ao norte, com o Estado da Paraíba e com a bacia do rio Pajeú (UP9); ao sul, com o Estado de Alagoas e com o grupo de bacias de pequenos rios interiores 2 - GI2(UP21); a Leste, com as bacias dos rios Ipojuca (UP3) e Ipanema (UP7); e a oeste, com a bacia do rio Pajeú e o grupo de bacias de pequenos rios interiores 3 - GI3 (UP22). (APAC, 2025).

A bacia do rio Moxotó possui área total de 9.744,01 km², dos quais 8.772,32 km² pertencem ao estado de Pernambuco (8,92% de sua área), situando-se em sua

maior parte no Sertão do Moxotó. Esse trecho abrange áreas de 12 municípios, dos quais Inajá e Sertânia estão totalmente inseridos na bacia. Os municípios com sede na bacia são Arcoverde, Custódia, Ibimirim, Manari e Tacaratu, enquanto os parcialmente inseridos são Buíque, Floresta, Jatobá, Igaraci e Tupanatinga.

Figura 3 – Mapa de localização com recorte na bacia do rio Moxotó – PE e do Reservatório Poço da Cruz.



Fonte: O autor (2025).

3.2 RESERVATÓRIO POÇO DA CRUZ

A construção da Barragem Francisco Saboya (Reservatório Poço da Cruz) foi finalizada no ano de 1958. A finalidade principal dessa barragem é o abastecimento humano e dessedentação animal, geração de energia, irrigação das terras de jusante do vale, cerca de 8 mil hectares, produção de piscicultura e culturas das áreas de montante (DNOCS, 2022).

Figura 4 – Reservatório Poço da Cruz, em janeiro/2023.

(A) Vista geral.



(B) Vista do barramento.



Fonte: O autor (2025).

3.3 ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA (IAC)

A precipitação foi adotada como referência climatológica para definir os parâmetros investigados neste estudo. Para isso, utilizaram-se os valores médios mensais de precipitação provenientes da série histórica compreendida entre os anos de 1994 e 2024, obtidos a partir de 4 estações pluviométricas. Os critérios para escolha das estações de referência foram: estar inseridas na Bacia do Moxotó e possuir uma série histórica de dados de pelo menos 30 anos ininterruptos. Esses dados foram fornecidos pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através do portal Hidroweb.

Conforme Rooy (1965), o IAC representa uma metodologia eficaz para avaliar a variabilidade da precipitação tanto em escalas sazonais quanto interanuais. O método permite identificar e comparar desvios em relação ao padrão normal, conforme demonstrado nas Equações 1 e 2, e a classificação do IAC é mostrada na Tabela 2.

$$IAC = 3 * \left(\frac{N - \bar{N}}{\bar{M} - \bar{N}} \right), \text{ para anomalias positivas} \quad (1)$$

$$IAC = -3 * \left(\frac{N - \bar{N}}{\bar{X} - \bar{N}} \right), \text{ para anomalias negativas} \quad (2)$$

Em que: N = precipitação anual atual (mm); $\bar{N}$ = precipitação média anual da série histórica (mm); $\bar{M}$ = média das dez maiores precipitações anuais da série histórica (mm); e $\bar{X}$ = média das dez menores precipitações anuais da série histórica (mm).

Tabela 2 – Classes de Intensidade do Índice de Anomalia de Chuva.

Faixa do IAC	Classe de Intensidade
≥ 4	Extremamente Chuvoso
4 a 2	Muito Chuvoso
2 a 0	Chuvoso
0 a -2	Seco
-2 a -4	Muito Seco
≤ -4	Extremamente Seco

Fonte: Adaptado de Araújo; Moraes Neto; Souza (2009, p.96.).

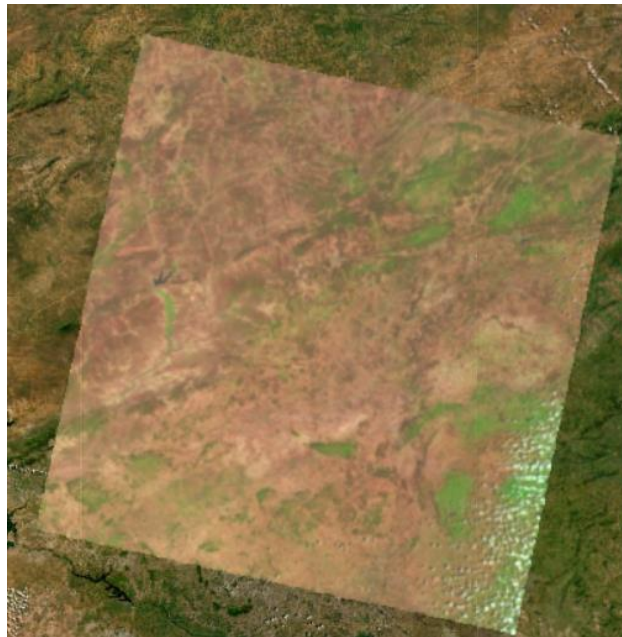
3.4 ESCOLHA, AQUISIÇÃO E PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

Esta seção apresenta as etapas envolvidas no processamento das imagens de satélite, abrangendo desde a aquisição dos dados até a elaboração das cartas georreferenciadas dos índices estudados.

3.4.1 Escolha e Aquisição das Imagens

A delimitação da área de estudo na Bacia Hidrográfica do Moxotó foi realizada por meio de uma pesquisa no portal da USGS, onde foi possível acessar gratuitamente imagens orbitais de diversos satélites, recurso que se mostrou essencial para o desenvolvimento desta pesquisa. O estudo dos Índices Espectrais foi iniciado no ano de 2013, em função do lançamento do satélite Landsat 8. Para o ano de 2012, não foram obtidas imagens adequadas do Landsat 5, o que inviabilizou sua utilização. Dessa forma, a análise foi limitada aos dados do Landsat 8, que registrou o evento de seca mais recente na área estudada. Foram selecionadas duas imagens orbitais, tendo como critério de escolha aquelas com menor cobertura de nuvens, correspondentes às datas de 10 de dezembro de 2013 e 10 de outubro de 2020, período seco e chuvoso, respectivamente. A seleção foi feita de maneira visual, com a análise individual de cada imagem disponível no site, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Imagem disponibilizada para a área de estudo em 10/10/2013.



Fonte: USGS (2025).

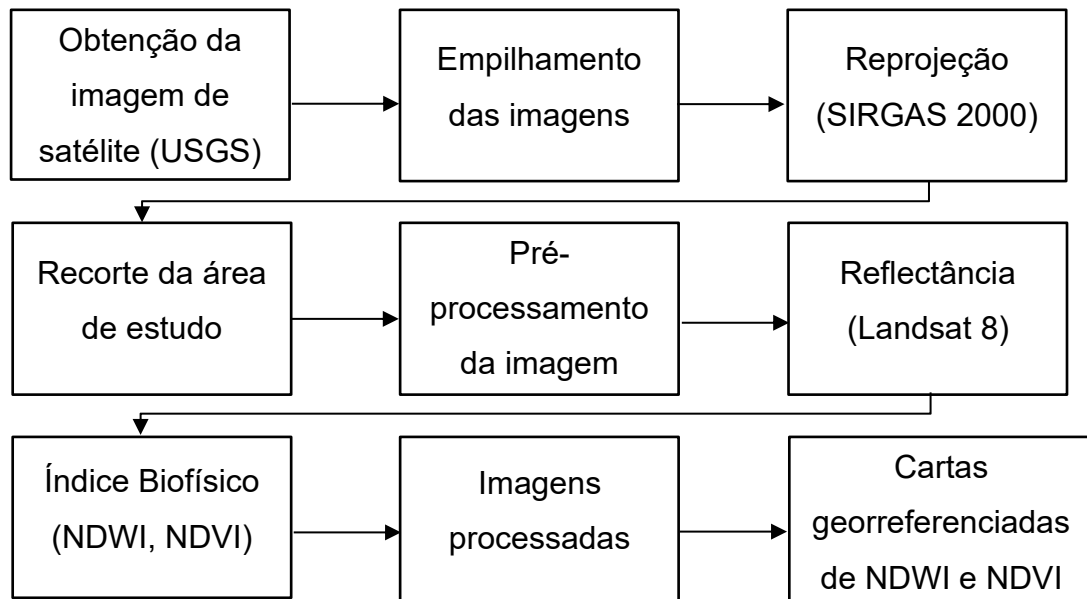
A etapa de aquisição das imagens consistiu no download das bandas espectrais, as quais foram organizadas conforme as datas selecionadas na pesquisa.

3.4.2 Pré-Processamento Das Imagens

Após essa organização inicial, deu-se início ao pré-processamento das imagens utilizando o software QGIS, versão 3.22.13, que é uma ferramenta gratuita e de código aberto. O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) multiplataforma que possibilita a visualização, edição e análise de dados com referência geográfica.

A metodologia adotada consistiu, inicialmente, na aquisição dos dados, com a seleção das cenas que apresentavam ampla cobertura espacial e baixa interferência de nuvens. Em seguida, foi realizado o processamento digital das imagens, que incluiu a reprojeção cartográfica para o sistema SIRGAS 2000, o recorte correspondente à área de estudo e o cálculo dos índices espectrais. Os resultados foram expressos em cartas imagem para cada ano analisado. Na Figura 6, apresenta-se o fluxograma das subetapas associadas a cada processo.

Figura 6 – Fluxograma com as etapas de processamento.



Fonte: O autor (2025).

3.5 PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS

Foram processadas imagens captadas pelo sensor *Operational Land Imager* (OLI) a bordo do satélite Landsat 8, correspondentes à órbita/ponto 215/66, referentes às datas de 10 de dezembro de 2013 e 10 de outubro de 2020. O satélite apresenta cobertura espectral na faixa de 0,43 a 12,50 micrômetros (μm), com revisita a cada 16 dias e resolução espacial de 30 metros nas bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 10.

O avanço tecnológico dos satélites, especialmente no que se refere à resolução espacial e temporal, tem consolidado o Sensoriamento Remoto como uma ferramenta cada vez mais precisa e eficiente para a análise e o monitoramento de recursos naturais, como os corpos d'água.

Após a realização do download das imagens por meio do portal da USGS, inicia-se a etapa de processamento das imagens. O primeiro passo consiste no empilhamento das bandas captadas pelos sensores do satélite, ou seja, a sobreposição das diferentes faixas espectrais. Em seguida, realiza-se a reprojeção cartográfica das imagens para o sistema de referência adotado no estudo, utilizando a projeção UTM, zona 24 Sul, com o Datum SIRGAS 2000.

Para as imagens do sensor OLI Landsat-8, o processamento digital foi realizado em conformidade com a metodologia descrita por, Silva *et al.* (2016), com a finalidade de converter os valores em nível de cinza (ND) para reflectância espectral, fazendo o

uso dos coeficientes radiométricos disponibilizados no arquivo de metadados do *United States Geological Survey* (USGS, 2025). Vale salientar que as imagens serão obtidas posteriormente e seu processamento digital será calculado com base nas Equações 3 e 4.

$$\rho_{\lambda i} = \frac{(A_{pi} + M_{pi} \cdot ND_i)}{\cos Z \cdot d_r} \quad (3)$$

$$d_r = \left(\frac{1}{d_{TS}} \right)^2 \quad (4)$$

Em que:

$\rho_{\lambda i}$ (adimensional) é a reflectância planetária no topo da atmosfera de cada banda i ;
 A_{pi} é o fator aditivo de redimensionamento de cada banda (disponível no arquivo metadados da imagem);

M_{pi} é o fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda (disponível no arquivo metadados da imagem);

ND_i é o número digital correspondente a intensidade do pixel de cada banda;

Z é o ângulo zenital solar obtido com base no ângulo de elevação do Sol – E (disponível no arquivo metadados da imagem), uma vez que $Z = 90 - E$;

d_{TS} é a distância Terra-Sol (disponível no arquivo metadados da imagem); e $\cos$ é o cosseno em radianos.

3.5.1 Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI)

Este índice tem como finalidade detectar águas superficiais em ambientes de zonas úmidas e permitir a medição da extensão da água superficial (McFeeters, 1996), conforme descrito na Equação 5.

$$NDWI = \frac{\rho_{verde} - \rho_{IVp}}{\rho_{verde} + \rho_{IVp}} \quad (5)$$

Em que:

ρ_{verde} é a reflectância da banda do verde (reflectância da banda 3);

ρ_{IVp} é a reflectância da banda do infravermelho próximo (reflectância da banda 5).

3.5.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O índice NDVI é calculado utilizando as bandas do infravermelho próximo (ρ_{IVp}) e do vermelho (ρ_v) das imagens extraídas de satélites (Rouse et al., 1974), por meio de sensoriamento remoto, segundo a Equação 6:

$$NDVI = \frac{\rho_{IVp} - \rho_V}{\rho_{IVp} + \rho_V} \quad (6)$$

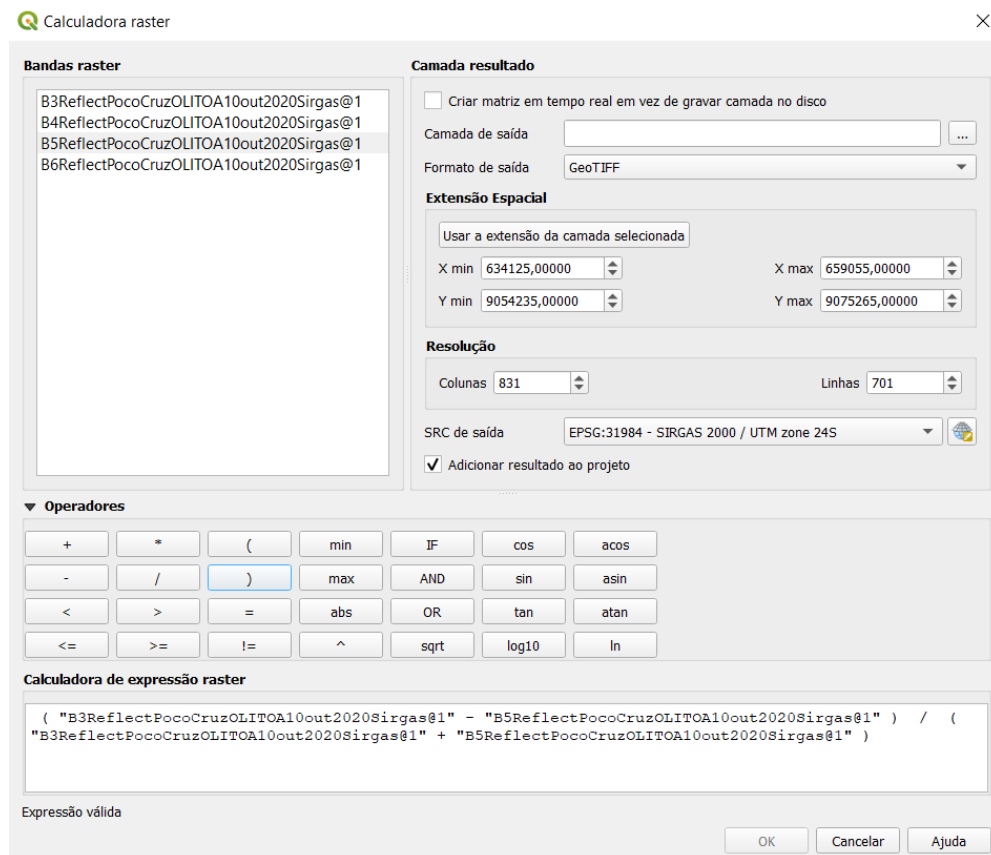
Em que:

ρ_{IVp} é a reflectância da banda do infravermelho próximo (reflectância da banda 5);

ρ_V é a reflectância da banda do vermelho (reflectância da banda 4).

Com o objetivo de conferir a exatidão dos cálculos, foi realizada uma verificação dos métodos aplicados no QGIS, através da calculadora raster (Figura 7), por meio do Microsoft Excel. Essa etapa permitiu validar os dados, uma vez que os resultados obtidos em ambas as plataformas foram idênticos.

Figura 7 – Aplicação da Calculadora Raster no QGIS.



Fonte: Calculadora Raster do QGIS (2025).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PARA OS ANOS ESTUDADOS

Os dados foram obtidos em 4 estações pluviométricas inseridas na Bacia do Moxotó, sendo 3 estações operadas pela da Agência Pernambucana de Águas e clima (APAC), de código 14, 16 e 77, intituladas Ibimirim (IPA), Arcoverde (INMET) e Tacaratu (Sítio Gameleira), respectivamente. E uma pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), de código 837038, intitulada Inajá. Em relação à integridade dos dados, a Tabela 3 demonstra que o percentual de falhas em todos os postos selecionados foi menor que 1%, garantindo a representatividade das análises. Na Figura 8, apresenta-se o mapa de localização dessas unidades na área de estudo.

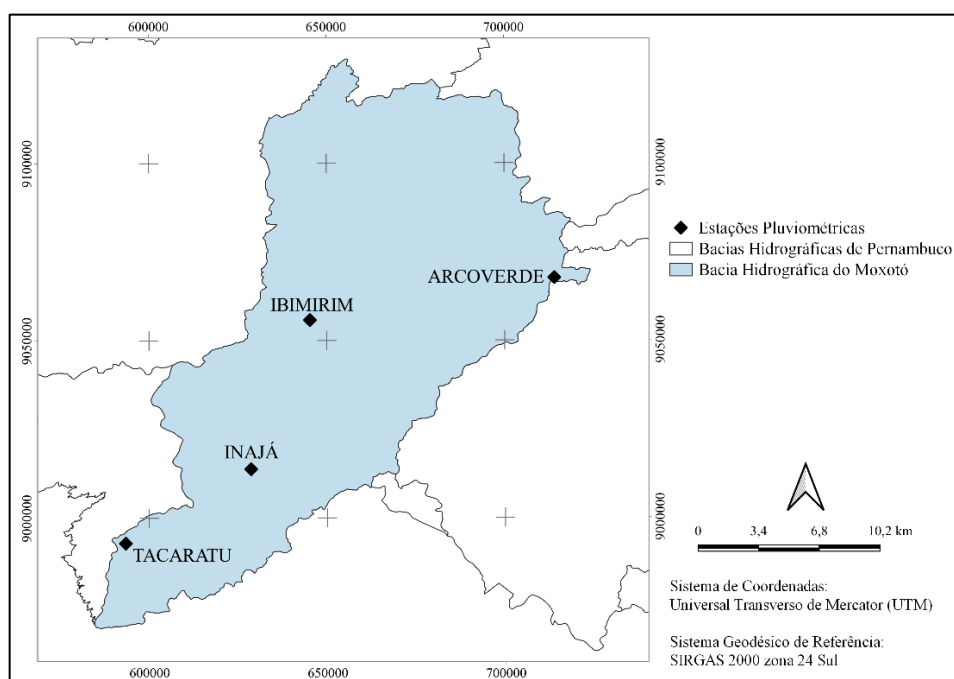
Tabela 3 – Percentual de falhas dos postos pluviométricos

Posto	Latitude	Longitude	Falhas	Percentual
Ibimirim (IPA)	-8,538	-37,679	16/11323	0,14%
Tacaratu (Sítio Gameleira)	-9,106	-38,146	20/11323	0,17%
Arcoverde (INMET)	-8,434	-37,056	70/11323	0,62%
Inajá (837038)*	-8,9208	-37,8306	87/11323	0,77%

*Estação obtida pelo portal Hidroweb.

Fonte: O Autor (2025).

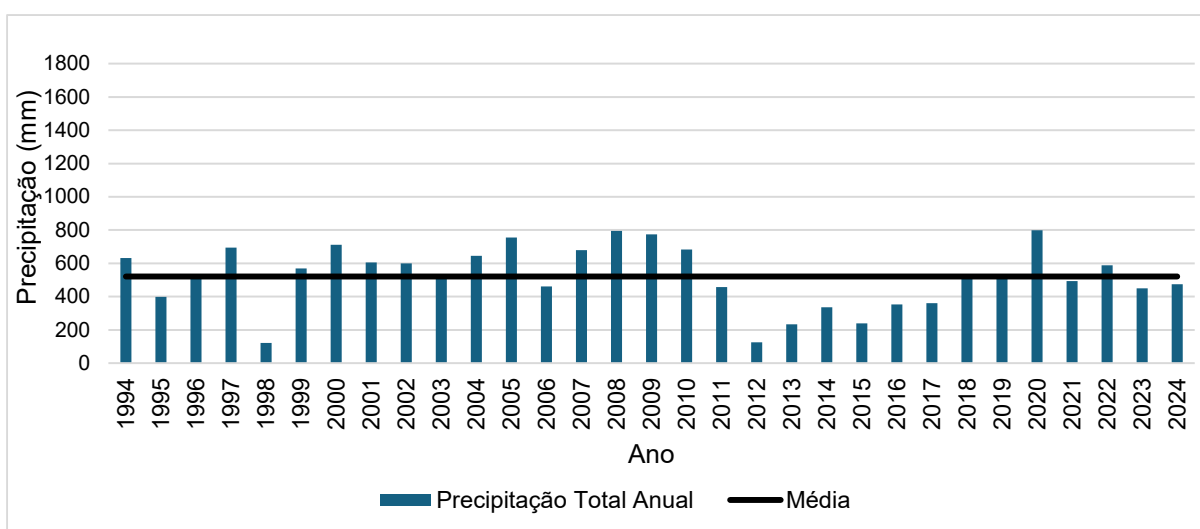
Figura 8 – Mapa de localização dos postos pluviométricos.



Fonte: APAC e ANA (2025). Elaborado pelo autor (2025).

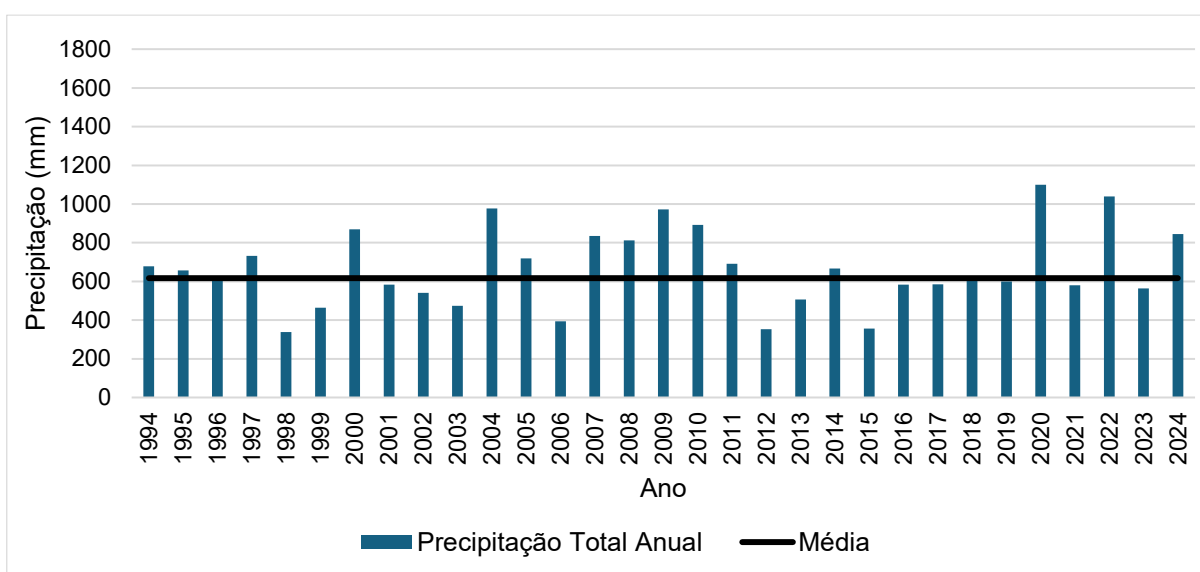
Para auxiliar a análise das variações sazonais e identificar padrões ao longo do período estudado, os dados pluviométricos diários de cada estação adotada foram organizados e representados nas Figuras 8, 10, 11 e 12, o qual exibem a precipitação total anual ao longo de toda a série histórica, facilitando a identificação de anos secos e chuvosos na região. De acordo com as imagens, é possível observar que os anos secos de 1998, 2012 e 2015 se destacam com o acumulado de precipitação muito abaixo da média. Em contrapartida, os anos de 1997, 2020 e 2022 aparecem com chuvas acima da média em todos os postos analisados.

Figura 9 – Precipitação Total Anual – Ibimirim (1994-2024).



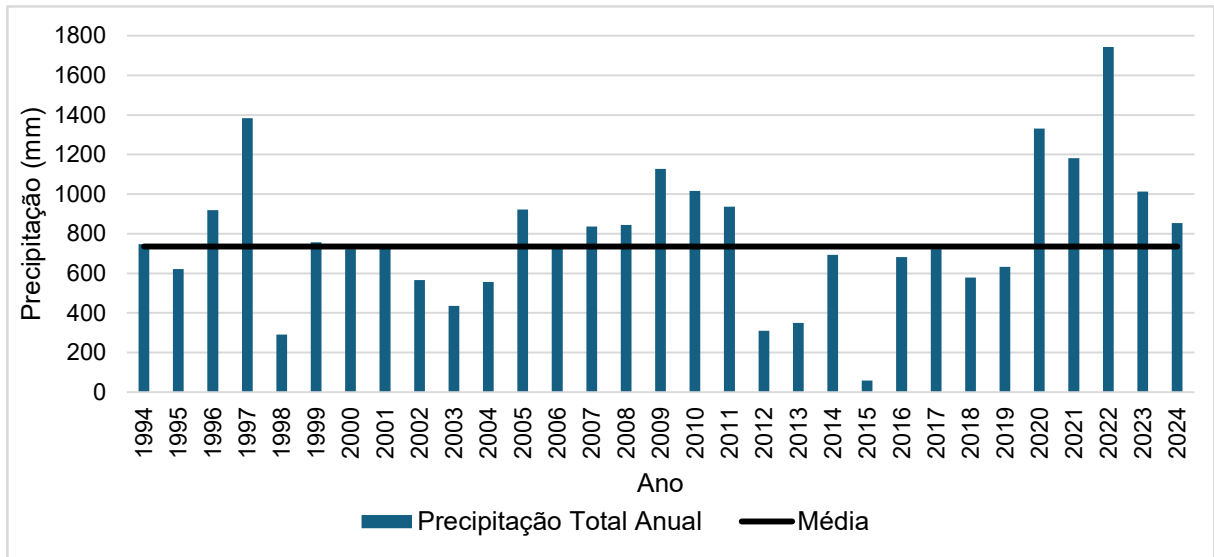
Fonte – APAC (2025).

Figura 10 – Precipitação Total Anual – Arcoverde (1994-2024).



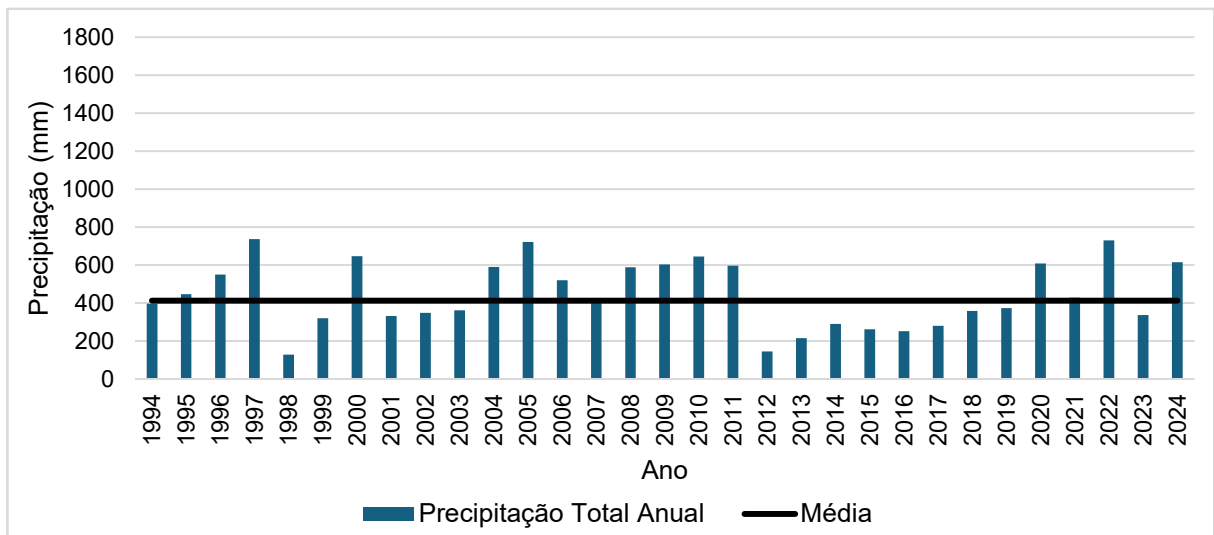
Fonte – APAC (2025).

Figura 11 – Precipitação Total Anual – Tacaratu (1994-2024).



Fonte – APAC (2025).

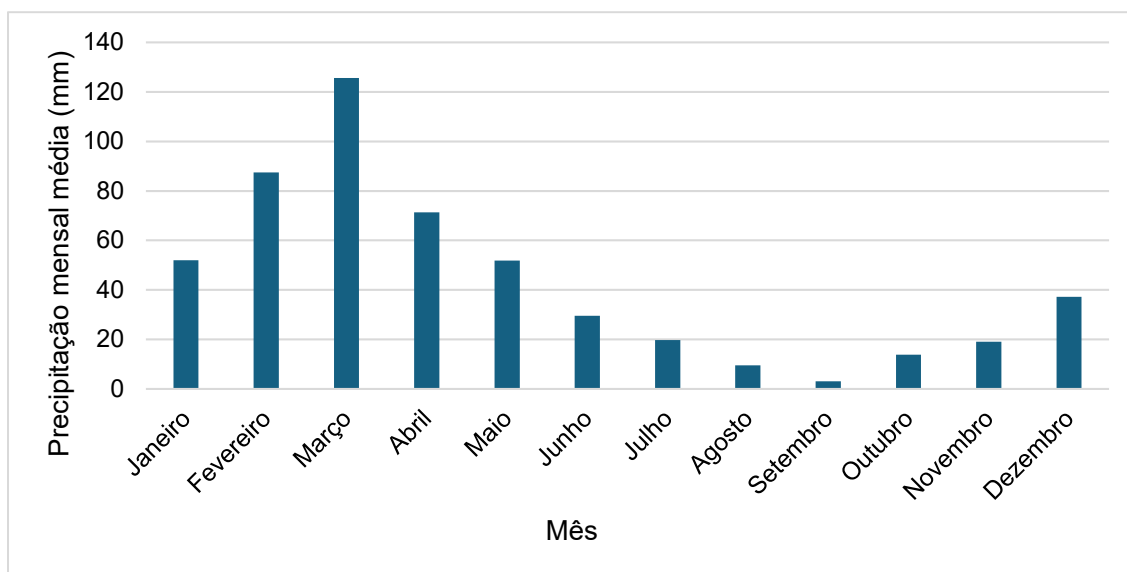
Figura 12 – Precipitação Total Anual – Inajá (1994-2024).



Fonte – ANA (2025).

Foi calculada a média mensal da precipitação (Figura 13) para cada mês dentro da série histórica. Essa avaliação possibilitou a redução das variações mensais, ajudando a compreender melhor as tendências climáticas da região ao longo dos anos. De acordo com a Figura 12, pode-se concluir que o período de chuvas na região ocorre principalmente no período que se estende de janeiro a maio, em contrapartida, o período de maior estiagem ocorre de junho a dezembro.

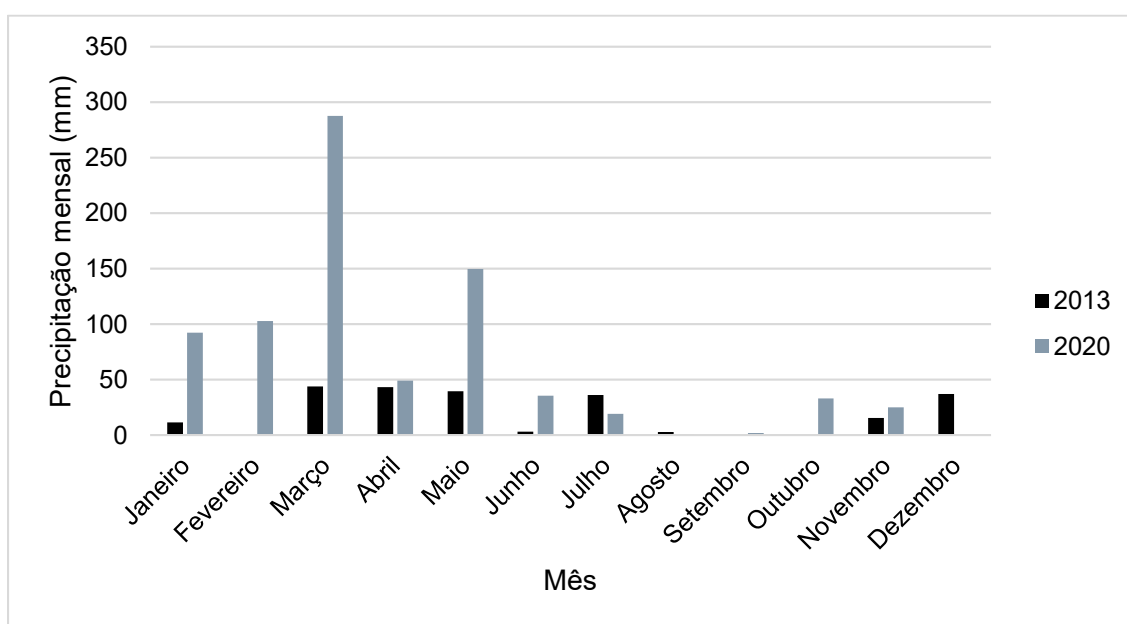
Figura 13 – Média Histórica Mensal – Ibimirim (1994-2024).



Fonte – APAC (2025).

De acordo com a Figura 14, nenhum dos meses do ano de 2013 apresentou chuvas acima de 50 mm, e seu acumulado anual foi de apenas 234 mm, constatando-se um baixo índice pluviométrico na região quando em comparação com a média histórica de 506,3 mm. Por outro lado, o ano de 2020 apresentou a maior precipitação anual da série histórica, com o acumulado de 798,2 mm, com destaque para os meses de janeiro, fevereiro, março e maio com chuvas acima da média de 51,5 mm, 84,7 mm, 121,7 mm e 50,2 mm, respectivamente.

Figura 14 – Dados pluviométricos dos anos 2013 e 2020 – Ibimirim.



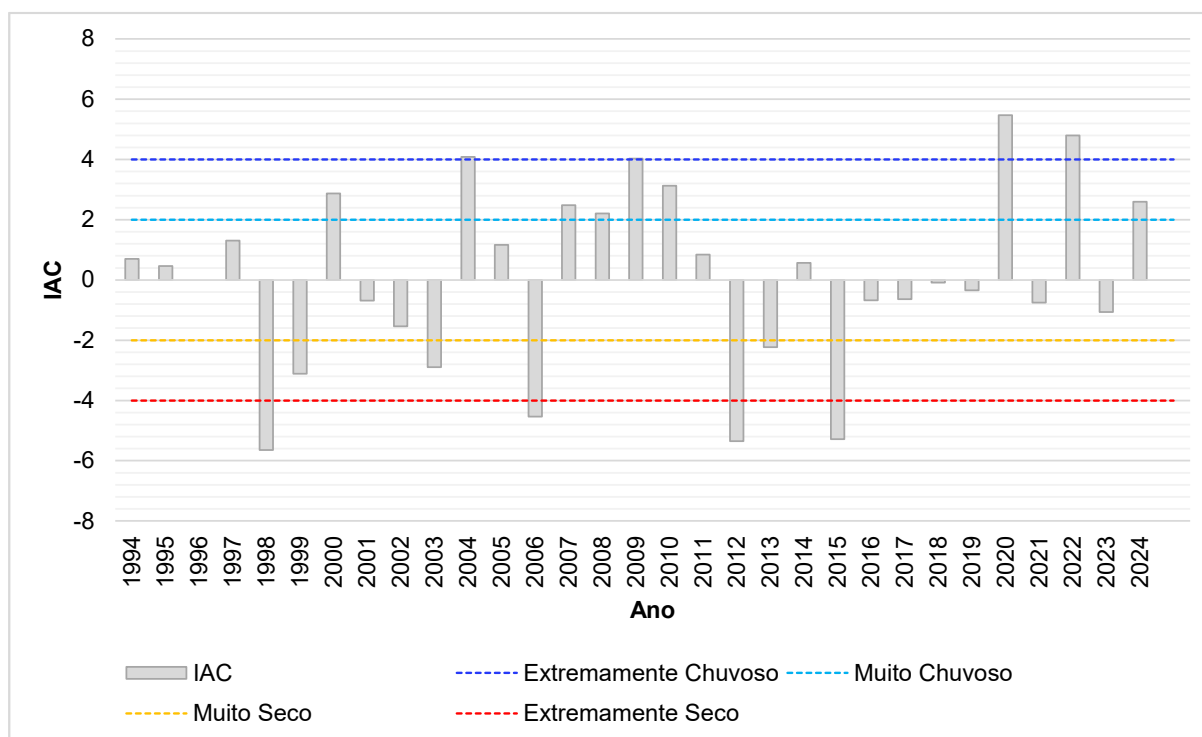
Fonte – APAC (2025).

4.2 ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA (IAC)

A análise da variabilidade espaço temporal das chuvas na bacia hidrográfica do rio Moxotó foi possível a partir dos dados pluviométricos da série histórica compreendida entre 1994 e 2014. Vale destacar que a média anual de precipitação na bacia foi de 571,6 mm.

As figuras a seguir apresentam os gráficos do IAC referentes aos quatro postos pluviométricos analisados no intervalo de 1994 a 2024. De modo geral, a variação temporal do IAC nos diferentes postos não apresentou um padrão definido, demonstrando uma distribuição bastante irregular ao longo da série histórica. Observa-se, contudo, que a classe de intensidade com valores de IAC próximos de zero foi a mais frequente em todos os locais avaliados.

Figura 15 – Valores de IAC dos Anos 1994 a 2024 – Arcoverde.

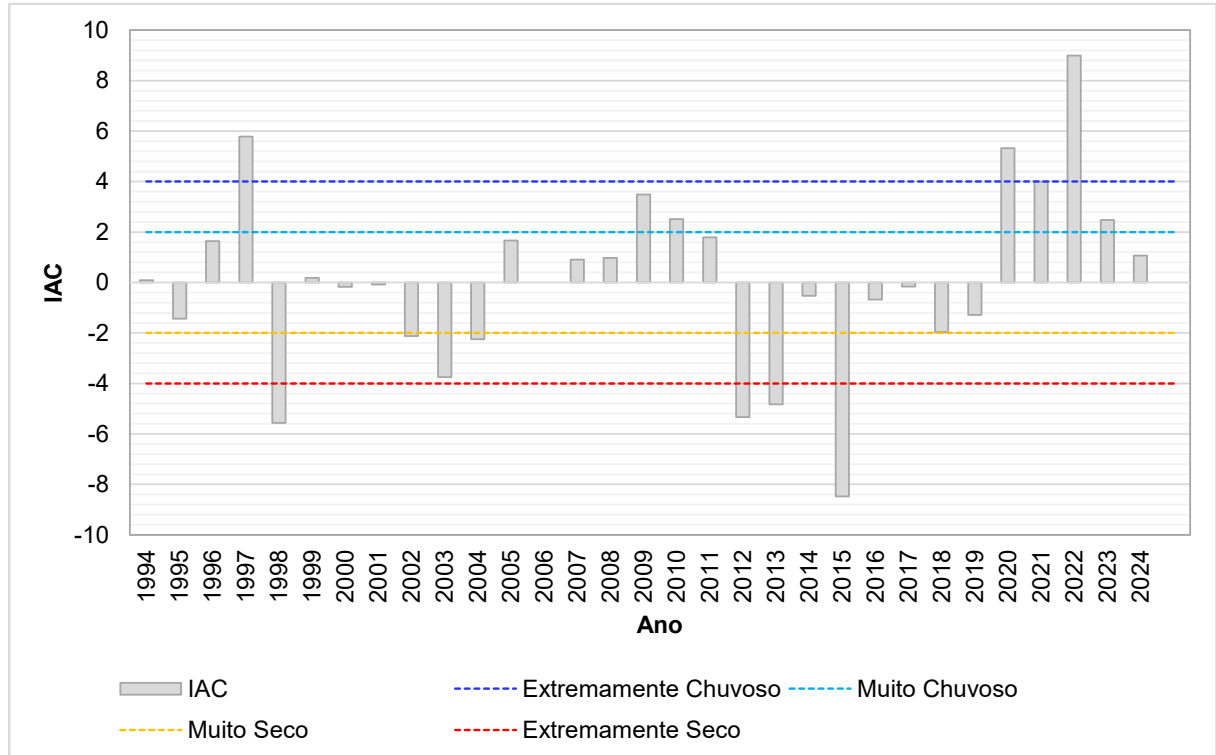


Fonte – APAC (2025). Elaborado pelo autor (2025).

O núcleo de Arcoverde (Figura 15) apresentou um valor médio do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) de 0,06, enquadrando-se na categoria "Chuvoso". No entanto, apenas os anos de 2004, 2009, 2020 e 2022 foram classificados como "Extremamente Chuvosos", enquanto 1998, 2006, 2012 e 2015 foram identificados como "Extremamente Secos" (Figura 15). As classes com maior frequência no núcleo

de Arcoverde foram "Seco" e "Chuvoso", ambas ocorrendo em 14 anos distintos, distribuídos ao longo da série temporal.

Figura 16 – Valores de IAC dos Anos 1994 a 2024 – Tacaratu.

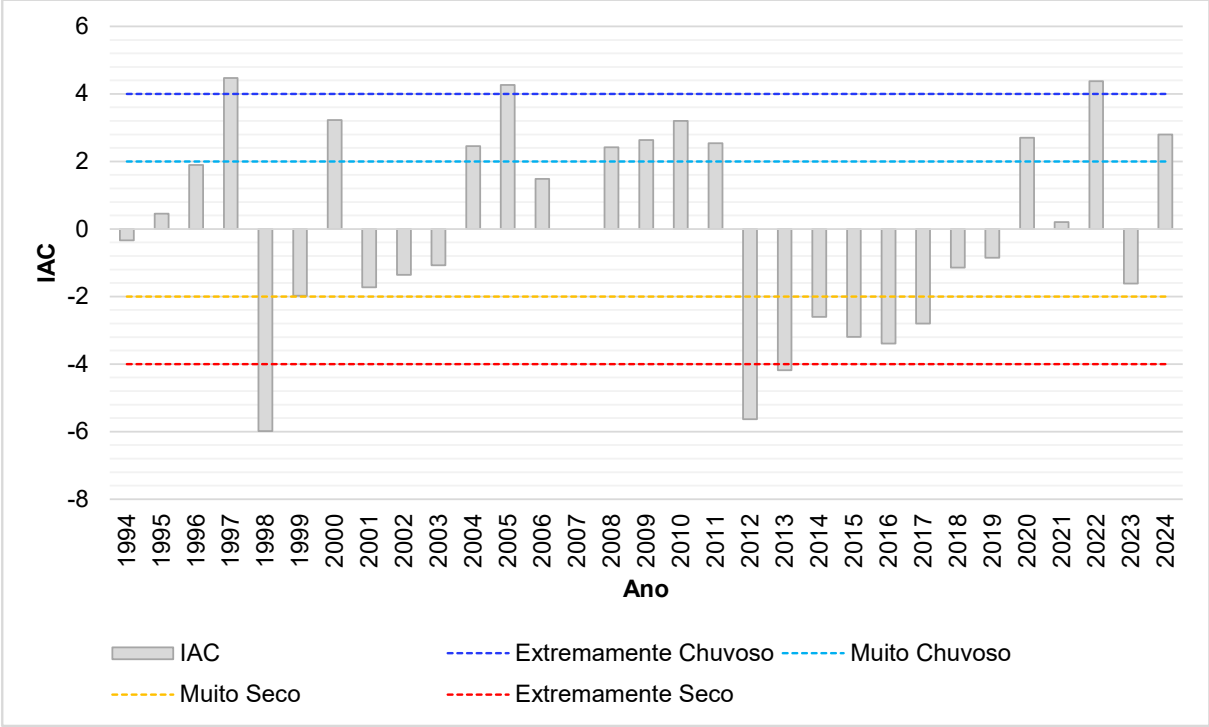


Fonte – APAC (2025). Elaborado pelo autor (2025).

O núcleo de Tacaratu apresentou grande variação nos valores do IAC ao longo do tempo (Figura 16), com registros classificados como "Extremamente Chuvoso" nos anos de 1997, 2020 e 2022, e como "Extremamente Seco" em 1998, 2012, 2013 e 2015. De acordo com Souza (1999), o ano de 1998 foi caracterizado por uma seca severa que afetou todo o Nordeste brasileiro, gerando déficit hídrico significativo, comprometendo as atividades econômicas, os reservatórios de água e o abastecimento das populações. A média do IAC em Tacaratu foi de 0,07, inserindo-se na categoria "Chuvoso", com maior frequência de ocorrência das classes "Seco" e "Chuvoso" ao longo da série analisada. É possível que tais variações sejam influenciadas pela maior altitude de Arcoverde frente a Tacaratu, facilitando processos de chuvas orográficas que explicariam, em parte, a diferenciação dos dados pluviométricos. Quanto à diferença acentuada em 2004 em relação ao valor de IAC de Arcoverde, admite-se a possibilidade de que o relevo tenha exercido papel determinante. Por estar em uma altitude mais elevada, Arcoverde poderia propiciar o

desenvolvimento de chuvas orográficas, fator que potencialmente contribuiu para a divergência dos resultados em relação a Tacaratu.

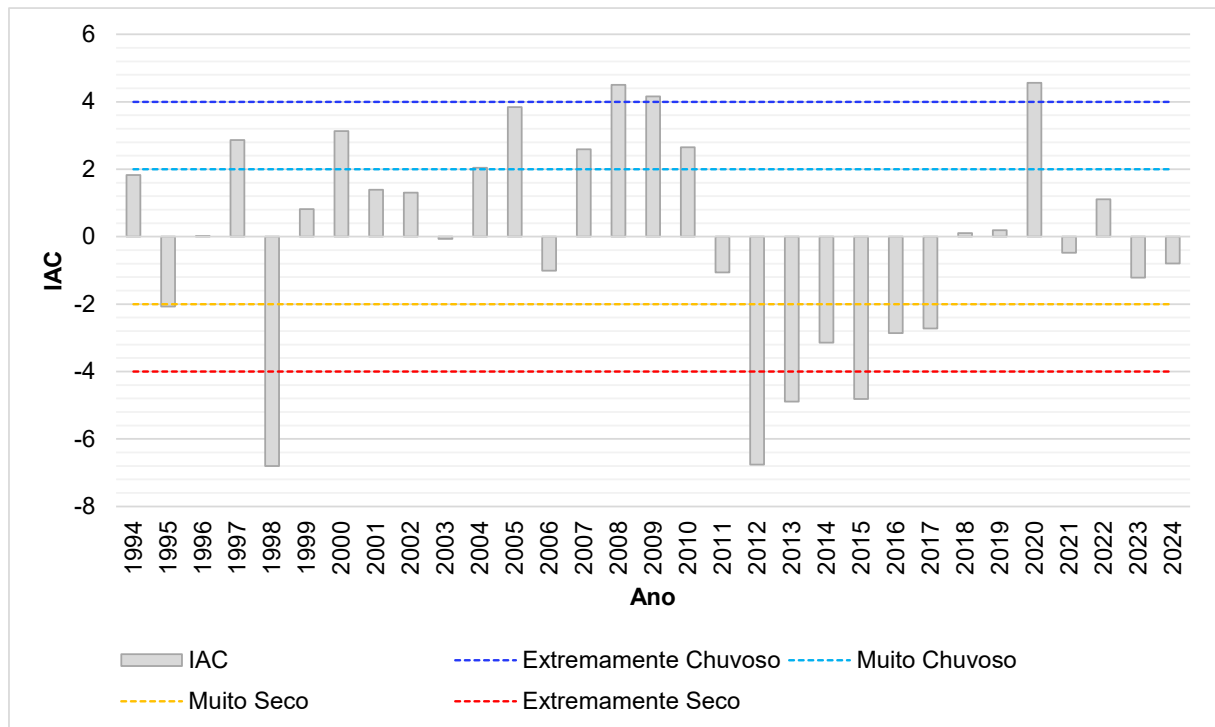
Figura 17 – Valores de IAC dos Anos 1994 a 2024 – Inajá.



Fonte – ANA (2025). Elaborado pelo autor (2025).

Na figura 17, Inajá registrou três anos classificados como "Extremamente Chuvoso", sendo 1997 com IAC de 4,47, 2005 com 4,26 e 2022 com 4,38. Já a classe "Extremamente Seco" foi observada nos anos de 1998, 2012 e 2013, com valores de -5,99, -5,63 e -4,18, respectivamente. Entre 2004 e 2011, houve uma predominância de valores positivos de IAC. Em contrapartida, de 2012 a 2019, o comportamento foi o oposto, com valores mais baixos. Inajá apresentou uma média de IAC de 0,04, enquadrando-se na classe "Chuvoso", mas com variação entre anos classificados como "Seco".

Figura 18 – Valores de IAC dos Anos 1994 a 2024 – Ibimirim.



Fonte – APAC (2025). Elaborado pelo autor (2025).

Por fim, o núcleo de Ibimirim apresentou uma média de IAC de -0,05, enquadrando-se na categoria "Seco", embora bastante próxima do limite para a classe "Chuvoso". Esse resultado reflete a expressiva ocorrência das classes "Muito Seco" e "Muito Chuvoso" ao longo da série histórica (Figura 18). Apesar disso, o comportamento foi influenciado pela predominância de oito anos classificados como "Chuvoso", em comparação a seis anos na categoria "Seco". Os anos de 2008, 2009 e 2020 foram classificados como "Extremamente Chuvoso", com valores de IAC de 4,50, 4,16 e 4,56, respectivamente. Já os anos de 1998, 2012, 2013 e 2015 apresentaram condições "Extremamente Secas", com valores de -6,80, -6,76, -4,89 e -4,81, respectivamente. Observa-se que tais índices estão relativamente próximos aos de Inajá, o que possivelmente decorre da proximidade geográfica entre os postos, ambos situados na mesma mesorregião do Sertão Pernambucano.

Nota-se que para todas as estações analisadas, o período que abrange os anos de 2012 a 2019 foi marcado por eventos de seca. Esses anos foram registrados na literatura pela ocorrência de eventos climáticos extremos, causados por fenômenos como El Niño e La Niña, que agravaram a intensidade e duração da seca no Nordeste Brasileiro (Marengo et al., 2017).

A aplicação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) em diferentes regiões do semiárido brasileiro demonstrou sua relevância para a identificação de padrões espaço-temporais da precipitação, bem como para a caracterização de anos secos e chuvosos com distintos níveis de intensidade. No estudo de Nascimento e Ribeiro (2023), realizado na bacia hidrográfica do rio Moxotó, observou-se que, no período de 1989 a 2018, a precipitação média anual foi de 539,8 mm, apresentando estabilidade na tendência linear da série histórica. A análise do IAC indicou predominância de anos classificados como secos, intercalados por anos úmidos, com destaque para 1989, 2004 e 2009, considerados extremamente chuvosos, e para 1993, 1998 e 2012, categorizados como extremamente secos, resultados que estão em consonância com este estudo. Os autores também verificaram correlação desses eventos extremos com fenômenos climáticos de grande escala, como El Niño, La Niña e o Dipolo do Atlântico.

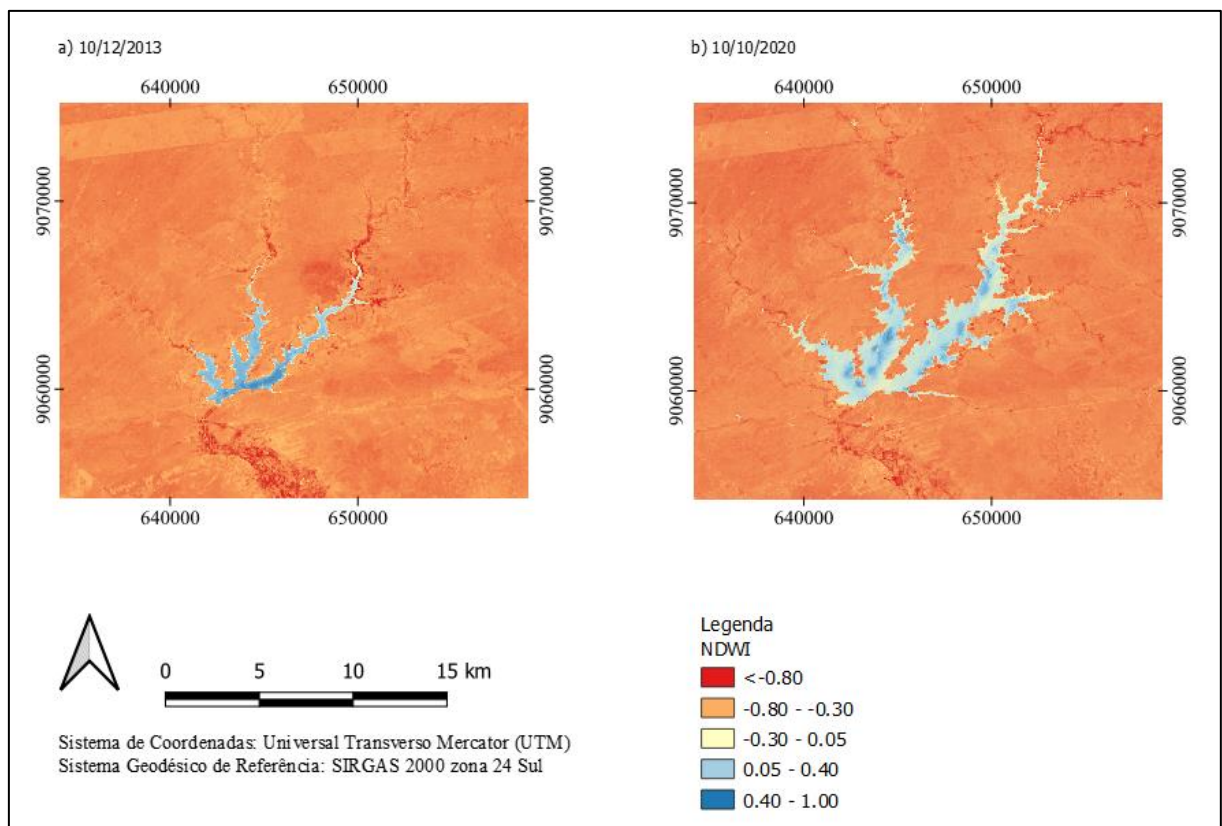
Resultados semelhantes foram obtidos por Silva Júnior et al. (2024) ao avaliarem núcleos de desertificação no Nordeste brasileiro, abrangendo o período de 1961 a 2022. A análise do IAC revelou classificação média predominantemente “seca” para todos os núcleos, com episódios isolados de “extremamente chuvoso” nas décadas de 1980 e 1990 e eventos “extremamente secos” pontuais entre 2000 e 2022. O núcleo de Cabrobó-PE, por exemplo, apresentou valor médio de IAC de -0,12, enquanto o de Gilbués-PI registrou -0,26, ambos correspondentes à categoria seca. Em todos os núcleos, a distribuição temporal do índice foi marcada pela alternância de anos secos e chuvosos, mas sem tendência estatisticamente significativa no longo prazo.

De forma geral, os achados de ambos os estudos confirmam que o IAC é uma ferramenta eficaz para diagnosticar a variabilidade pluviométrica no semiárido, permitindo identificar padrões associados a fatores climáticos globais e regionais. Além disso, os resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo, pois, mesmo sem tendência definida, a alternância de anos de seca e excesso de chuva pode impactar significativamente a disponibilidade hídrica, a agricultura e a gestão de recursos na região. Diante do exposto, o estudo avaliou o ano mais seco e o mais chuvoso no município de Ibimirim no período citado, sendo eles 2013 e 2020, respectivamente.

4.3 CARTAS GEORREFERENCIADAS DOS ÍNDICES NDWI E NDVI

O processamento dos índices NDVI e NDWI permitiu a análise do comportamento do reservatório Poço da Cruz ao longo do período estudado. A interpretação das cartas geradas com base no NDWI, conforme ilustrado na Figura 19, onde são apresentadas as cartas georreferenciadas do índice espectral NDWI para os períodos estudados nesta pesquisa. Os valores inferiores a 0 (zero) indicam áreas correspondentes a solo exposto, zonas urbanizadas e vegetação com baixa umidade.

Figura 19 – Índice Espectral NDWI, aplicado no reservatório Poço da Cruz – Ibimirim.



Fonte: O Autor (2025).

De forma mais precisa, observa-se que valores mais altos de NDWI indicam que a vegetação apresenta maior conteúdo de água em sua estrutura interna. Por outro lado, valores mais baixos sinalizam que a vegetação possui menor quantidade de água.

Adicionalmente, os resultados do presente estudo são fortalecidos por pesquisas que, embora utilizando datas e sensores distintos, confirmam o

comportamento espectral do NDWI no semiárido. Lima et al. (2019), ao analisarem a bacia do Moxotó, também verificaram que valores negativos do índice estão associados a vegetações com grande quantidade de folhas e galhos secos, uma característica da Caatinga em períodos de estiagem. A aplicação do NDWI em diferentes anos, como demonstrado por Farias et al. (2024), que avaliaram os anos de 2017 e 2019, também se mostrou eficaz para detectar a dinâmica do corpo hídrico, com o índice variando de -0,478 a 0,364 em 2017 e de 0,255 a 0,483 em 2019, evidenciando a sensibilidade do índice às mudanças nas condições hídricas locais.

Ferreira et al. (2012) identificaram que valores negativos do NDWI estão associados à presença de vegetação seca, solo exposto e áreas urbanas, enquanto valores acima de 0,1 indicam áreas com agricultura irrigada e corpos d'água. De forma semelhante, Albuquerque et al. (2014), ao analisar o NDWI no município de Souza-PB, verificaram que a região apresentou baixos níveis de umidade, evidenciados pela predominância de valores negativos, o que está em consonância com os achados desta pesquisa.

Os resultados encontrados estão em consonância com a literatura que aborda a mesma área de estudo. O estudo de Leonardo et al. (2021) também analisou os anos de 2013 e 2020 e, por meio do NDWI, identificou que 2013 apresentou os menores valores do índice, com predominância de tons vermelhos no mapa, indicando baixa umidade na cobertura vegetal e caracterizando uma vegetação mais seca. Os autores atribuíram esse comportamento diretamente à ausência de eventos chuvosos significativos naquele período. A pesquisa de Câmara et al. (2021) corrobora essa interpretação, afirmando que a predominância de valores negativos de NDWI na região do entorno do reservatório corresponde a um baixo valor de umidade, associado à vegetação seca e ao solo exposto, o que valida os resultados obtidos neste trabalho para o ano de 2013.

A Tabela 4 apresenta valores médios negativos para o NDWI. No caso dos índices de água, tais valores indicam a predominância de regiões sem a presença de corpos hídricos. Conforme Ferreira et al. (2012), valores negativos de NDWI correspondem a áreas com vegetação seca, solo exposto ou ocupação urbana.

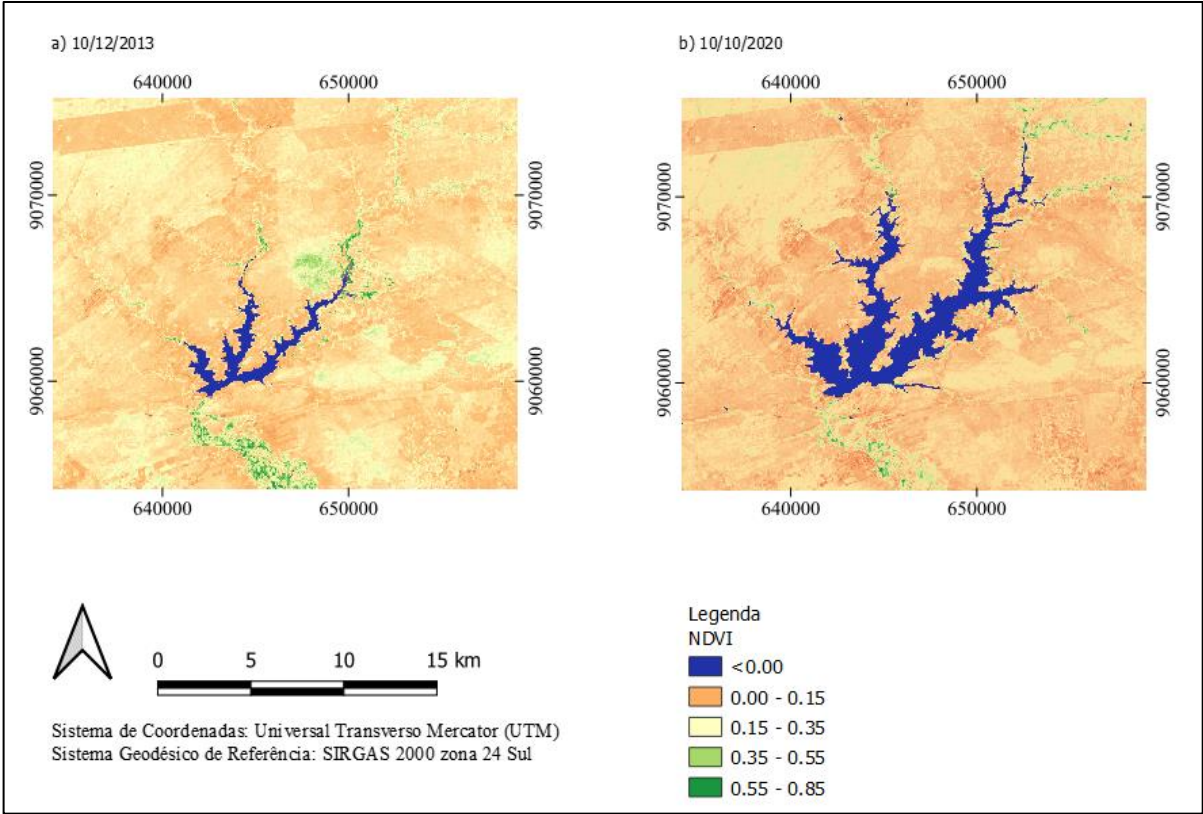
Tabela 4 – Dados estatísticos do parâmetro NDWI dos anos 2013 e 2020.

Imagem	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
10/15/2013	-0,858	-0,401	0,865	0,131
10/10/2020	-0,752	-0,405	0,757	0,193

Fonte: O Autor (2025).

A Figura 20 mostra a carta-imagem gerada a partir do NDVI, na qual as áreas com valores negativos são claramente identificadas em azul, enquanto as áreas com valores positivos, que indicam maior densidade de vegetação, aparecem em verde.

Figura 20 – Índice Espectral NDVI, aplicado no reservatório Poço da Cruz – Ibimirim.



Fonte: O Autor (2025).

Ao avaliar a resposta espectral dos pixels no NDVI, observou-se uma concentração de valores mais elevados nas áreas próximas a corpos d'água, evidenciando a presença de mata ciliar ao redor do Poço da Cruz, acompanhando seu leito mesmo durante o período seco. Na Figura 20, os resultados obtidos estão em consonância com Bezerra et al. (2013), que identificaram valores de NDVI compatíveis com a sazonalidade dos dados de precipitação, reforçando a eficácia do método em

regiões semiáridas. Também foi possível identificar, por meio da imagem, os corpos hídricos associados a valores inferiores a 0 e a cobertura vegetal da área.

A forte correlação entre a precipitação e a resposta da vegetação é um ponto central, validado por múltiplos estudos na região. Leonardo et al. (2021), utilizando os índices SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo) e IAF (Índice de Área Foliar), também constataram que os anos de 2000 e 2013 apresentaram vegetação escassa e seca, enquanto 2020 se destacou pelo aumento do vigor vegetativo, o que os autores associaram diretamente à elevação da pluviometria anual. De forma semelhante, Lima et al. (2019) observaram que o vigor vegetativo em março de 2018 foi notavelmente superior ao de setembro de 2008, um fato atribuído à ocorrência de 97,20 mm de chuva nos cinco dias que antecederam a aquisição da imagem de 2018, o que demonstra a rápida resposta da Caatinga à umidade.

A interpretação dos valores do NDVI encontrados neste trabalho para 2013, que indicam estresse vegetativo, é amparada pela literatura. Segundo Oliveira et al. (2010), baixos valores de NDVI podem configurar não apenas vegetação estressada pela escassez hídrica, mas também áreas degradadas pela ação antrópica, que levam à exposição do solo. Essa observação é particularmente relevante para o semiárido, onde a pressão sobre os recursos naturais é intensa. Os resultados deste estudo, portanto, alinham-se à conclusão de que o NDVI é uma ferramenta eficaz para diagnosticar tanto as variações climáticas sazonais quanto os impactos de longo prazo do uso e ocupação do solo sobre a cobertura vegetal.

O NDVI, cuja variação vai de -1 a 1, é empregado para evidenciar o vigor vegetativo de uma determinada área. Valores próximos de 1 indicam superfícies com maior cobertura vegetal, enquanto aqueles próximos de -1 correspondem à presença de água. A tabela 5 detalha os valores encontrados nessa pesquisa.

Tabela 5 – Dados estatísticos do parâmetro NDVI dos anos 2013 e 2020.

Imagem	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
10/15/2013	-0,705	0,264	0,927	0,101
10/10/2020	-0,721	0,277	0,852	0,145

Fonte: O Autor (2025).

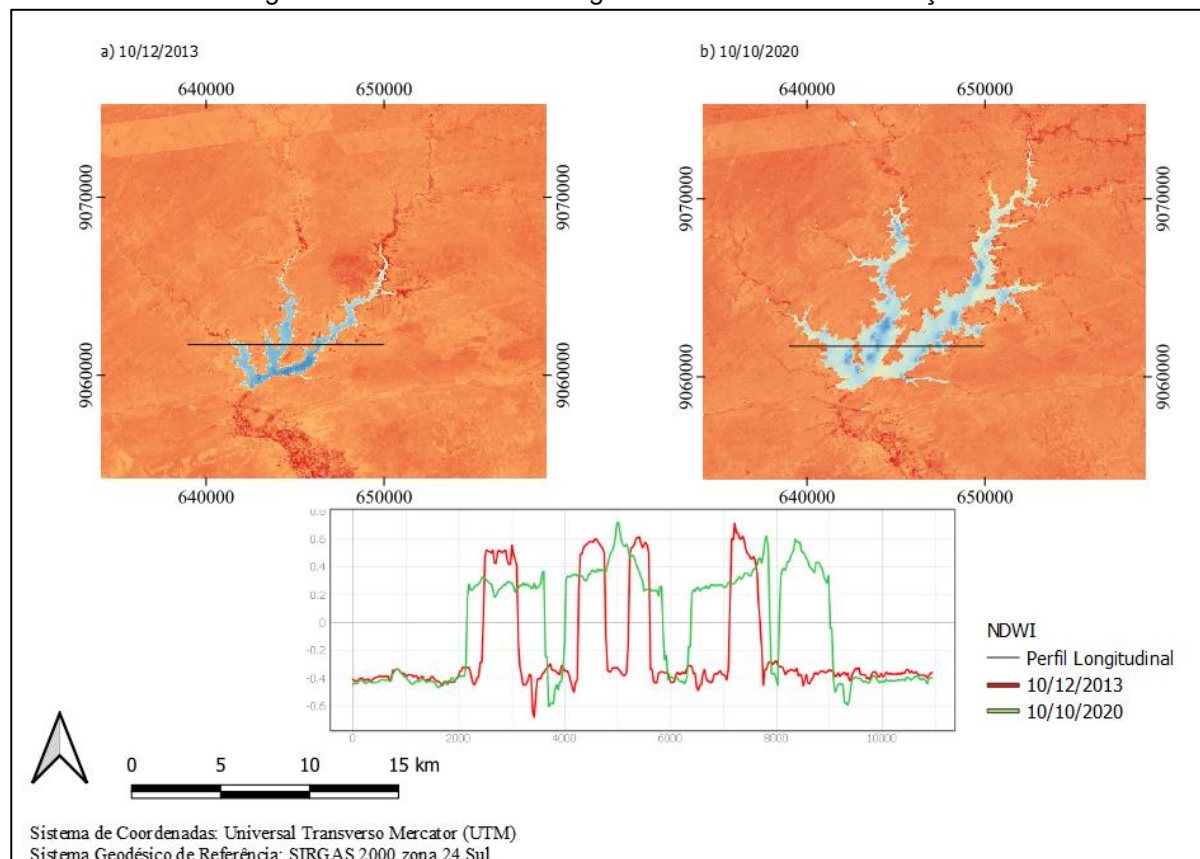
4.4 PERFIS LONGITUDINAIS DOS ÍNDICES NDWI E NDVI

Após a análise dos dados hidrológicos e a geração das informações de precipitação, torna-se fundamental identificar as alterações ocorridas no reservatório, decorrentes do volume de chuvas registrado na área do Reservatório Poço da Cruz.

A análise de perfis longitudinais, que consiste em traçar uma linha sobre a imagem para extrair e representar graficamente os valores de pixel de um índice espectral, é um recurso valioso para observar e quantificar a variação espacial das características da superfície. Estudos realizados no semiárido pernambucano, comprovam a eficácia dessa técnica. A comparação com tais trabalhos possibilita inferir o comportamento esperado e ampliar a discussão dos resultados obtidos neste estudo.

Observou-se que em 10/12/2013 (Figura 21a) a presença do reservatório tem área menor que em 10/10/2020 (Figura 21b), conseqüentemente, o perfil apresentou menor extensão (cor vermelha do perfil) e, maior extensão (cor verde), nas respectivas datas pesquisadas, o que está em concordância com os resultados de precipitação total anual apresentados na Figura 9.

Figura 21 – NDWI – Perfil longitudinal do Reservatório Poço da Cruz.



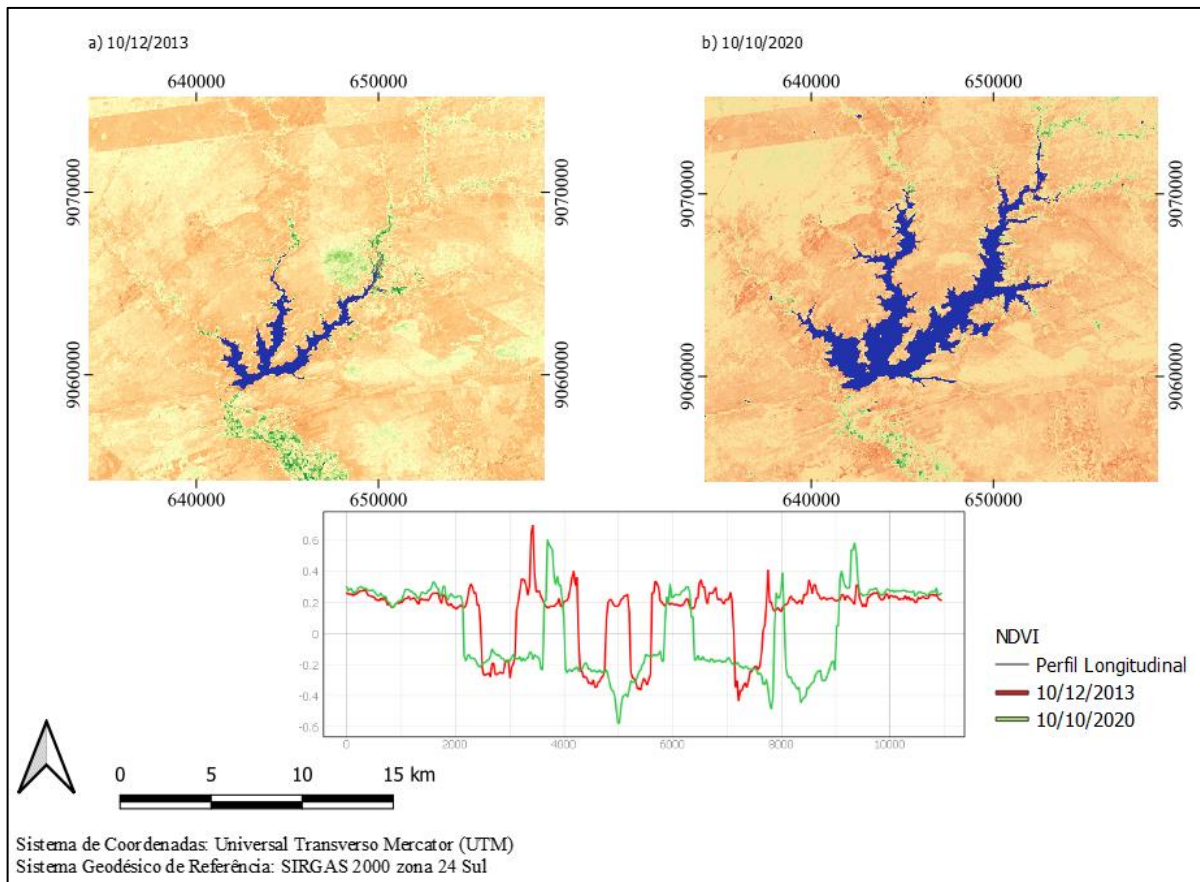
Fonte: O Autor (2025).

Com presença maior de pixel na cor vermelha em 2013 (menores que 0), diferentemente da porção central em 2020 (Figura 21b – 10/10/2020), com menor presença de pixel vermelho, esta variabilidade espacial do espelho de água condiz com o observado por Leonardo et al. (2019), em que o perfil longitudinal do NDWI, exibiu um comportamento inverso ao do NDVI: os valores foram predominantemente negativos sobre o solo e a vegetação, com um pico acentuado e positivo exatamente sobre o rio Pajeú. A largura desse pico no gráfico serviu como representação direta da largura do rio, evidenciando a redução do espelho entre os anos de 2005 e 2018.

De acordo com Silva e Lopes (2021) a redução da umidade resulta no aumento da incidência de radiação na superfície, além de que as diferenças nos valores de NDVI no mesmo período podem ser atribuídas a variações na precipitação no mesmo ano em diferentes áreas da bacia. Dessa forma, constatou-se que a precipitação atua como o principal fator de variação do NDVI na área analisada, apresentando valores mais elevados após os eventos de chuva. O bioma Caatinga demonstra alta resiliência, uma vez que sua resposta às precipitações e o processo de regeneração da vegetação ocorrem de forma rápida com a chegada das primeiras chuvas sazonais.

Na Figura 22 registra-se o Perfil longitudinal do NDVI do Reservatório Poço da Cruz.

Figura 22 – NDVI – Perfil longitudinal do Reservatório Poço da Cruz.



Fonte: O Autor (2025).

Observou-se na Figura 22 a variabilidade dos valores dos pixels entre < 0 e $-0,40$, para valores negativos identificando a representação do corpo hídrico do reservatório Poço da Cruz, enquanto os valores positivos indicam a presença de cobertura vegetal. Esse padrão, com valores negativos associados a corpos hídricos, está em conformidade com as observações de Silva et al. (2019) ao analisarem o NDVI no município de Arcoverde, localizado na região semiárida de Pernambuco.

Os pixels que apresentaram valores entre $0,20$ e $0,30$, conforme ilustrado na Figura 22, indicam a presença de vegetação mais esparsa. Esse resultado é semelhante ao observado por Salgueiro et al. (2020) no Agreste pernambucano, ao analisarem as configurações superficiais hídricas e vegetadas por meio do índice espectral NDVI, com georreferenciamento do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Moxotó.

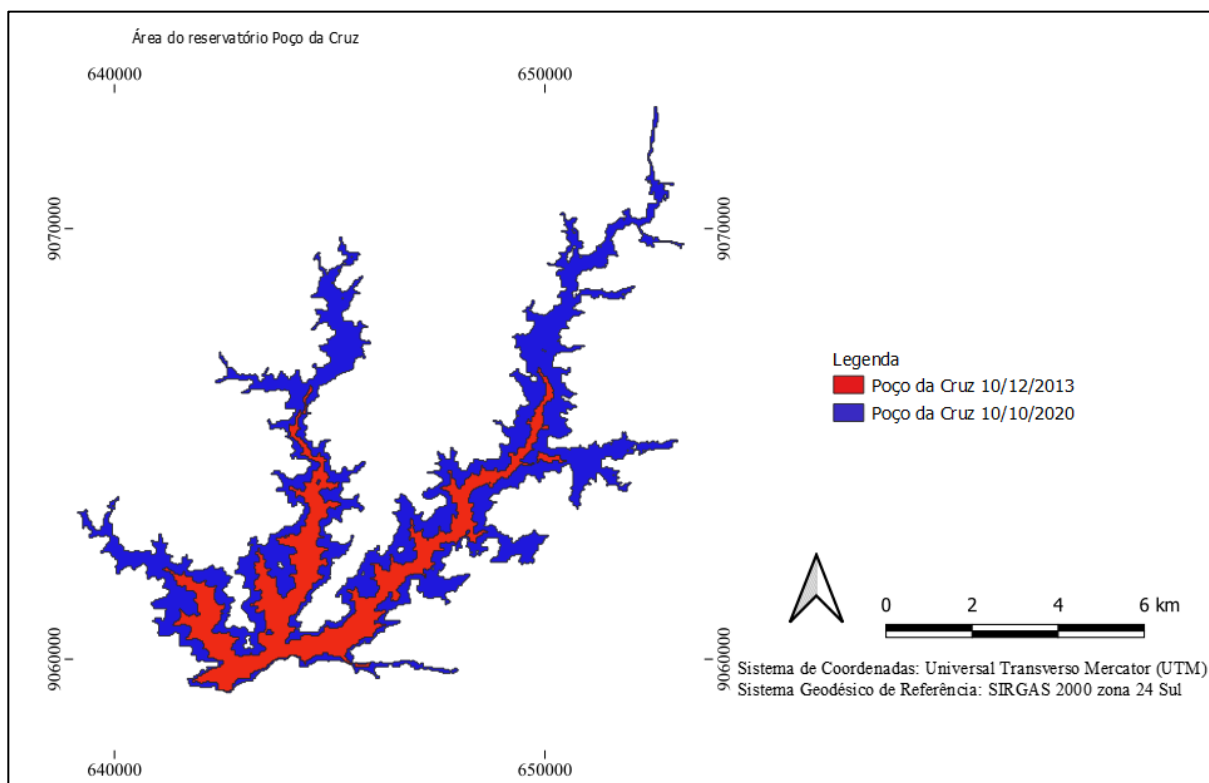
4.5 ÁREA DA LÂMINA D'ÁGUA DO RESERVATÓRIO

A área da lâmina d'água do reservatório Poço da Cruz foi calculada utilizando a carta georreferenciada do NDWI, correspondente aos valores positivos de NDWI, conforme o proposto por Xu (2006).

A Figura 23 apresenta a extensão da área ocupada pela lâmina d'água do reservatório nas datas analisadas, já a Tabela 5 mostra os valores encontrados para as áreas. Foi possível observar a condição extrema, onde no ano de 2020 (Figura 23) houve um aumento significativo da área do reservatório. Diante dos cálculos feitos pelo índice físico NDWI, foi possível observar um aumento de aproximadamente, 238,93% quando se comparar a área em 2013 para 2020, resultado que está de acordo com o observado na Figura 9. Convém ressaltar que os resultados obtidos para o ano de 2013 estão em concordância com os dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2025), conferindo maior robustez à base de dados utilizada.

A dinâmica da área superficial do Poço da Cruz também foi documentada em outras janelas temporais, reforçando a sua sensibilidade às variações climáticas. Farias et al. (2024), por exemplo, estimaram a área superficial do açude a partir do NDWI e encontraram um aumento significativo de 130,06 hectares em dezembro de 2017 para 708,89 hectares em dezembro de 2019, evidenciando uma recuperação hídrica expressiva em um intervalo de apenas dois anos. Em contraste, Bezerra et al. (2019) analisaram a variação intra-anual de 2017 e observaram uma redução da área superficial de 201,86 hectares em agosto para 123,64 hectares em dezembro, movimento consistente com a diminuição do volume útil registrado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) no mesmo período.

Figura 23 – Cenários para quantificação do espelho d'água.



Fonte: O Autor (2025).

Tabela 6 – Comparação entre as áreas superficiais para os anos analisados para o reservatório Poço da Cruz.

Data da imagem	Área do espelho d'água
10/15/2013	9.418 km ²
10/10/2020	31.922 km ²

Fonte: O Autor (2025).

A metodologia de extração da área do espelho d'água, baseada na vetorização de pixels com valores positivos de índices como NDWI, é uma abordagem consolidada e validada por diversos autores. Leonardo et al. (2021) destacam o uso do Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado (MNDWI) proposto por Xu (2006) modificando o NDWI. Esta modificação se destaca por sua capacidade de delinear os corpos hídricos com maior eficácia, separando-os de outros alvos na superfície. A consistência entre os resultados de área obtidos por diferentes estudos, utilizando diferentes índices e sensores, reforça a robustez do Sensoriamento Remoto como ferramenta para o monitoramento quantitativo de recursos hídricos, sendo fundamental para a gestão e o planejamento em regiões semiáridas.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo analisou a dinâmica espaço-temporal do espelho d'água do reservatório Poço da Cruz, localizado no município de Ibimirim–PE, por meio da integração de dados pluviométricos através do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) e índices espectrais derivados de imagens do satélite Landsat 8, com destaque para o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI).

Os resultados confirmaram a forte dependência entre o regime de chuvas e a dinâmica ambiental da região semiárida. A aplicação do IAC foi fundamental para quantificar o contraste climático, classificando o ano de 2013 como "Extremamente Seco" e o de 2020 como "Extremamente Chuvoso" para a localidade de Ibimirim. Essa disparidade refletiu-se diretamente nos Índices Espectrais. Por meio do NDWI, foi possível quantificar a expressiva expansão do reservatório, que apresentou um aumento de área superficial de aproximadamente 239% entre 2013 e 2020, passando de 9,4 milhões de m² para 31,9 milhões de m². De forma análoga, o NDVI evidenciou a resiliência do bioma Caatinga, que respondeu rapidamente à disponibilidade hídrica com um notável aumento do vigor vegetativo no período chuvoso.

A pesquisa valida a interação entre a anomalia de chuvas e a resposta da água e da vegetação, consolidando o uso integrado dos índices IAC, NDWI e NDVI como uma ferramenta poderosa para o monitoramento de recursos hídricos. A metodologia oferece subsídios valiosos para a gestão hídrica, permitindo um diagnóstico preciso da disponibilidade de água em reservatórios e da saúde do ecossistema, sendo essencial para o planejamento de políticas públicas e para o desenvolvimento de estratégias de convivência com o semiárido.

Conclui-se, portanto, que a associação de dados pluviométricos e índices espectrais se mostrou eficiente para compreender a dinâmica hídrica e vegetativa do reservatório Poço da Cruz, oferecendo subsídios relevantes para o manejo sustentável dos recursos hídricos e para o desenvolvimento de estratégias de convivência com as condições climáticas do semiárido pernambucano.

REFERÊNCIAS

- ALBURQUERQUE, E. M.; ANDRADE, S. C. P.; MORAIS, H. F.; DINIZ, J. M. T; SANTOS, C. A. C (2014). “Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB”. *Revista Estudos Geoambientais – Revista eletrônica (Online)*, v. 1, n. 1.
- ALMEIDA, Debora Natália Oliveira de *et al.* Delimitation of water areas using remote sensing in Brazil's semiarid region. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Recife, v. 58, n. 1, p. 20-29, 2023.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA - APAC. Disponível em <https://www.apac.pe.gov.br/> Acesso: fevereiro de 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Disponível em <https://www.ana.gov.br/> Acesso: março de 2025.
- ARAÚJO, L. E. et al. Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação na Bacia do Rio Paraíba usando IAC. **Revista de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 47-59, 2007. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2007.228680>.
- ARAÚJO, L. E.; MEDEIROS, L. A.; SILVA, M. A. Aplicação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) na identificação de secas e períodos chuvosos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 56-68, 2007.
- ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Classificação da precipitação anual e da quadra chuvosa da bacia do rio Paraíba utilizando índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 93-110, 2009.
- ASSIS, J. M. O., OLIVEIRA, C. R., SOUZA, W. M., & SOBRAL, M. C. M. (2019). Variabilidade da precipitação em bacias hidrográficas no semiárido: uma análise espaço-temporal. In A. Philippi Junior & M. C. Sobral (Orgs.), *Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade* (1ª ed., Vol. 1, pp. 499-523). Barueri: Manole
- BACALHAU, J. R.; RIBEIRO NETO, A.; MACIEL DE OLIVEIRA, L. M. Aplicação de índice de vegetação no monitoramento da seca: açude Algodões no sertão pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [S. l.], v. 2, n. 3, p. 283–293, 2017. DOI: 10.24221/jeap.2.3.2017.1449.283-293. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/1449>.
- BARBOSA, C.; NOVO, E. M. L. M. (org.). **Introdução ao sensoriamento remoto de sistemas aquáticos: princípios e aplicações**. São José dos Campos: INPE, 2018.
- BEZERRA. H. N; BEZERRA J. M. MATTOS. A. Aplicação de Produtos de Sensoriamento Remoto Associados ao NDVI em Sistemas de Monitoramento Ambiental e de Recursos Hídricos. *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. 2013.

BEZERRA, U.A. et al. **Comparativo do índice NDWI entre os satélites landsat-8 e sentinel-2 no entorno do reservatório Poço da Cruz-PE**. XXIII SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2019.

CÂMARA, C.P.S. et al. **Albedo e índice espectral de água no reservatório Poço da Cruz-PE e seu entorno utilizando imagens orbitais**. XXIV SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2021.

COSTA NETO, F. A. P. W. da et al. Spectral indices of vegetation and water in the spatio-temporal characterization of the Brígida river basin - Sertão Pernambucano. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 13, n. 3, 2023.

CURY, M. D. et al. Análise do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) aplicado à bacia hidrográfica do Rio Urussanga/SC. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 24, p. 71-78, 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS – DNOCS. Disponível em <https://www.gov.br/dnocs/pt-br/assuntos/noticias/francisco-saboya-e-a-maior-barragem-de-usos-multiplos-de-pernambuco> Acesso: Agosto de 2025.

FARIAS, M. O. et al. Detecção e extração de área superficial de reservatório a partir de índice NDWI no Sertão Pernambucano. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 17., 2024, João Pessoa. **Anais [...]** João Pessoa: ABRH, 2024.

FERREIRA, J. M. S.; FERREIRA, H. dos S.; SILVA, H. A. da; SANTOS, A. M. dos; GALVÍNCIO, J. D. (2012). “Análise Espaço-Temporal da Dinâmica da Vegetação da Caatinga no Município de Petrolina- PE”. *Revista Brasileira de Geografia Física*, pp. 904-922.

GALVÍNCIO, J. D. Aplicações do NDVI no monitoramento de áreas agrícolas e florestais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2019.

HOSSAIN, F.; KAMAL, M. A.; AFRIN, T. Fluvio-geomorphic change of the Padma-Meghna river course using the NDWI and MNDWI techniques. **Water Science**, v. 38, n. 1, p. 293–310, 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Mapa do reservatório Engenheiro Francisco Sabóia (Poço da Cruz) – PE. Disponível em: http://geopro.crn.inpe.br/RH_reser_PE_eng.franciscosaboia.htm. Acesso em: 10 set 2025.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução de José Carlos Neves Epiphânio. São José dos Campos: Parêntese, 2011.

LEONARDO, H. R. A. L. et al. Geotechnology in the analysis of behavior spectral of natural resources in the Semiarid pernambucano. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 9, n. 4, p. 191-203, 2019.

LEONARDO, H. R. A. L. et al. Sensoriamento Remoto Aplicado na Geoespacialização do Reservatório Poço da Cruz - PE e seu Entorno. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 6, p. 3592-3607, 2021.

LIMA, N. A. S. et al. Índices Espectrais por Sensoriamento Remoto com os satélites LANDSAT-5 e SENTINEL-2 no entorno do reservatório Poço da Cruz - PE. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 9, n. 5, p. 299-309, 2019.

Mapa do Reservatório Eng. Francisco Sabóia (Poço da Cruz) - PE. Disponível em: <http://geopro.crn.inpe.br/RH_reser_PE_eng.franciscosaboia.htm>. Acesso em: 20 set. 2025.

MARCUZZO, F. F. N.; MELO, D. C. R.; ROCHA, H. M. Distribuição espaço-temporal e sazonalidade das chuvas no Estado do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 16, n.4, p. 157-167, 2011.

MARENGO, J. A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2 suppl 1, p. 1973-1985, 2017.

MARENGO, J. A. et al. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: Medeiros, S. S.; Gheyi, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. S. (Orgs.). *Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas*, Campina Grande: INSA, p. 383-422. 2011.

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.

NASCIMENTO, G. V. S. do; RIBEIRO, E. P. Variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia hidrográfica do rio Moxotó. **Revista GeoUECE**, [S. l.], v. 12, n. 23, p. e2023006, 2023. DOI: 10.59040/GEOUECE.2317-028X.v12.n23.e2023006. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/10552>.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Landsat 8**. Greenbelt, MD: NASA, 2025. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>.

NOVO, E. L. M. de M. *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. 4 ed, São Paulo:Edgard Blücher Ltda, 2010.

OLIVEIRA, R. P. de. Utilização de imagens Landsat 8/OLI para estimativa da concentração de sedimentos em suspensão do rio Madeira. 2018. Artigo (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro Universitário de Maringá, UNICESUMAR, Maringá, 2018.

OLIVEIRA, T.H., SILVA, J.S., MACHADO, C.C.C., GALVÍNCIO, J.D., NÓBREGA, R.S., & Pimentel, R.M.M. (2010) "Detecção espaço-temporal de estresse hídrico na vegetação do semiárido no nordeste do Brasil utilizando NDVI e NDWI – Estudo de caso Serra da Capivara e Serra do Congo-PI". VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física-II Seminário Ibero Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra.

OLIVEIRA, T.H., MACHADO, C.C.C., SILVA, J.S., GALVÍNCIO, J.D., PIMENTEL, R.M.M., SILVA, B.B., 2010. Índice de umidade (NDWI) e análise espaço-temporal do albedo da superfície da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física* 3, 55-69

PATRIOTA, E. G. Influência do Índice de Anomalia de Chuvas na vegetação da bacia hidrográfica do rio Pajeú por sensoriamento remoto. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 41, n. 1, p. 169-173, 2024.

PEREIRA, M. L. T., Soares, M. P. A., Silva, E. A., Montenegro, A. A. de A., & Souza, W. M. de. (2017). Variabilidade climática no Agreste de Pernambuco e os desastres decorrentes dos extremos climáticos. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 2(4), 394–402. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1452.394-402>.

ROCHA, N. N. C. S. G. et al. Índice de Anomalia de Chuva e ocorrência de desastres relacionados à precipitação na bacia hidrográfica do rio Cachoeira, Bahia. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 21, e16, 2024.

RODRIGUES, J. M. D.; LIMA, E. R. V. de. Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) para a sub-bacia hidrográfica do rio Sucuru, alto curso do rio Paraíba – PB. **Geopauta**, Vitória da Conquista, v. 8, e15589, 2024.

ROOY, M. P. V. A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space. *Notes*, v. 14, 1965.

ROUSE, J.; Hass, R.H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS-1 Symposium NASA, NASA SP-351, Washington DC, 309-317. 1974.

SALGUEIRO, C.O.B.; ALMENTA, D.N.O.; JUNIOR, U. J. S.; SANTOS, S. M; OLIVEIRA, L.M.M. (2020, p. 6-10). "NDVI Aplicado Nas Configurações Superficiais Hídricas E Vegetadas Do Semiárido Pernambucano". XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, p. 6-10, 2020.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. O índice de anomalia de chuva (IAC) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/Rs (1928-2009). *Caminhos de Geografia*, v. 15, n. 51, p. 73–84, 2014. <https://doi.org/10.14393/RCG155126423>.

SENA, J. P. O.; LUCENA, D. B.; RIBEIRO, G. N. Eventos extremos de precipitação no sertão paraibano: Variação espaço-temporal. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 12, n. 4, p. 748-755, 2017. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v12i4.4938>.

SILVA, B. B. DA et al. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 3–8, jan. 2016.

SILVA, J. A. et al. Monitoramento da variabilidade da precipitação no nordeste brasileiro com base no IAC. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 115–126, 2020.

SILVA JÚNIOR, Juarez Antônio da et al. ANÁLISE DE ÍNDICES DE PRECIPITAÇÃO NOS NÚCLEOS DE DESERTIFICAÇÃO NO NORDESTE UTILIZANDO DADOS BR-DWGD. In: XVII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 17., 2024, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: ABRHidro, 2024. p. 1-10.

SILVA, K. J. C.; LOPES, P. M. O.; Spatiotemporal variation of the vegetation index by normalized difference in the hydrographic basin of Pernambuco semiarid, Brazil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing** v.11, n.5 (2021) 292-301

SILVA, M. O.; SOUZA, J. O. P. de. Aplicação do NDVI e de dados pluviométricos na análise de áreas úmidas na Chapada do Araripe. In: XVII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Maceió: ABRHidro, 2024.

SILVA, V. V. S.; SILVA, J. L. B.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O.; NASCIMENTO, C. R.; SILVA, L. C. Monitoramento da cobertura vegetal por sensoriamento remoto no semiárido brasileiro através de índices de vegetação. *Nativa, Sinop*, v. 7, n. 6, p. 708-717, nov./dez. 2019.

SOARES BARROS, A.; MENEZES DE FARIAS, L.; LUIZ ALVES MARINHO, J. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetativa de Juazeiro Do Norte – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2885, 26 nov. 2020.

SOUZA, I. A. (1999). “Influência do El Niño no comportamento pluviométrico do Estado de Pernambuco durante o ano de 1998”. In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e II Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 1, pp. 172-186.

SOUZA, J. C. de. Metodologia para avaliação ambiental em bacias hidrográficas, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. 2017. 95 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, 2017.

TRAN, T. V.; REEF, R.; ZHU, X. A review of spectral indices for mangrove remote sensing. **Remote Sensing**, v. 14, n. 19, p. 4868, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs14194868>.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat 8 Data Users Handbook**. Version 5.0. Sioux Falls, SD: USGS, 2019.

USGS. **USGS.gov | Science for a changing world**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/>. Acesso: Agosto 2025

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p. 3025–3033, 2006.

XUE, J.; SU, B. Significant remote sensing vegetation indices: a review of developments and applications. **Journal of Sensors**, v. 2017, Article ID 1353691, 17 p., 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>.