



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Sensoriamento Remoto Aplicado na Geoespacialização do Reservatório Poço da Cruz - PE e seu Entorno

Haylla Rebeka de Albuquerque Lins Leonardo¹; Camila Oliveira de Britto Salgueiro²; Débora Natália Oliveira de Almeida³; Sylvana Melo dos Santos⁴; Leidjane Maria Maciel de Oliveira⁵

¹Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife, Pernambuco, haylla.rebeka@ufpe.br; ²Pesquisadora, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - DECIV, UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil, camila.salgueiro@ufpe.br; ³Pesquisadora, DECIV, UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil, debora.noalmeida@ufpe.br; ⁴Professora do DECIV e do PPGEC, UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil, sylvana.santos@ufpe.br; ⁵Professora do DECIV e do PPGEC, UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil, leidjane.oliveira@ufpe.br.

Artigo recebido em 06/10/2021 e aceito em 20/10/2021

RESUMO

O Sertão Pernambucano é caracterizado por longos períodos de secas, com regime pluviométrico inconstante e irregular, dificultando o desenvolvimento socioeconômico da região. Nesse contexto, a aplicação de técnica de Sensoriamento Remoto utilizando imagens georreferenciadas destaca-se pela relevância no monitoramento e na análise da variação da cobertura vegetal e do suprimento hídrico nos reservatórios da região. Este estudo objetivou avaliar as variações temporais geoespacializadas do uso e ocupação do solo, vegetação e área superficial do espelho d'água do reservatório de Poço da Cruz, em Pernambuco, em uma perspectiva espectro temporal utilizando imagens datadas de 2000, 2013 e 2020, aplicando os índices espectrais MNDWI, NDWI, SAVI, IAF, dos sistemas sensores TM Landsat 5 e OLI Landsat 8, e ferramentas do projeto MapBiomass da coleção 5.0. Com a análise do MNDWI foi possível identificar o aumento na área superficial do reservatório ao longo dos anos, ressaltando que os anos de 2000 e 2013 indicaram maior estresse hídrico, com redução dos valores do respectivo índice. Os índices NDWI, SAVI e IAF apontaram cobertura vegetal escassa e seca com baixa umidade para os anos de 2000 e 2013, entretanto, observou-se o aumento do vigor vegetativo e a presença de maior umidade para o ano de 2020. Condizente com os dados obtidos para o uso e ocupação do solo pelo projeto MapBiomass, observou-se aumento das áreas destinadas à agricultura e à pastagem no entorno do reservatório entre os anos de 2000 e 2013, bem como o incremento do seu espelho d'água.

Palavras-chave: índices biofísicos, recursos hídricos, sensoriamento remoto.

Analysis of the Temporal variability of Water Body in the Backwoods of the Pernambuco

ABSTRACT

The Sertão Pernambucano is characterized by long periods of drought, with an unstable and irregular rainfall regime, which hinders the socioeconomic development of the region. In this context, the application of the Remote Sensing technique using georeferenced images stands out for its relevance in monitoring and analyzing the variation in vegetation cover and water supply in the region's reservoirs. This study aimed to evaluate the geospatial temporal variations of the use and occupation of the soil, vegetation and surface area of the water mirror of the Poço da Cruz reservoir - PE, in a temporal spectrum perspective using images dated from 2000, 2013 and 2020, applying the spectral indices MNDWI, NDWI, SAVI, IAF, from the TM Landsat 5 and OLI Landsat 8 sensor systems, and tools from the MapBiomass project from the 5.0 collection. The MNDWI analysis identified the increase in the surface area of the reservoir over the years, noting that the years 2000 and 2013 showed greater water stress with a reduction in the index values. The NDWI, SAVI and IAF indexes indicated a sparse and dry vegetation cover with low humidity for the years 2000 and 2013, however, there was an increase in vegetative vigor and the presence of higher humidity for the year 2020. data obtained for land use and occupation by the MapBiomass project, indicating that there was an increase in areas for agriculture and pasture around the reservoir between 2000 and 2013, as well as an increase in its water surface.

Keywords: biophysical indices; water resource; remote sensing.

Introdução

A região do semiárido Pernambucano é marcada por longos períodos de secas, com regime pluviométrico inconstante e irregular. A escassez de água é uma das principais problemáticas dos municípios e um grande empecilho para o desenvolvimento socioeconômico. A ausência do desenvolvimento de técnicas bem elaboradas para irrigação aliada à irregularidade do ciclo hidrológico, proporcionam alterações consideráveis na superfície vegetal desses locais, como resultado, o próprio ciclo pode ser afetado causando mais alterações negativas (Andrade *et al.*, 2018). De acordo com Luz *et al.* (2022), a exploração contínua e insustentável dos recursos naturais promove a degradação ambiental, situação que expõe a fragilidade e a necessidade de estudar as transformações da paisagem, e o estabelecimento de estratégias para monitorar distúrbios naturais e antrópicos.

Sob a perspectiva da escassez, e, por se tratar de um tema de grande relevância visto que os recursos hídricos são imprescindíveis para a humanidade, o monitoramento periódico dos sistemas hídricos é essencial para promover o gerenciamento adequado das águas (Barbosa *et al.*, 2021). As constantes buscas para o aperfeiçoamento do entendimento dos processos hídricos urbanos direcionam as pesquisas a utilizar materiais com tecnologia ainda mais avançada (Bandim e Galvíncio, 2021).

Como detalhou Farias *et al.* (2017), a aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) para o monitoramento do comportamento hídrico associado à variação da cobertura vegetal encontra-se cada vez mais recorrente no cenário mundial. Visto que o SR permite a observação dos parâmetros espectrais da vegetação e dos parâmetros biofísicos da paisagem, conforme Silva *et al.* (2019a), resultando na disseminação de pesquisas de uso do solo, possibilitando o fornecimento de informações atualizadas e facilitando os diagnósticos de ocupações e parâmetros biofísicos.

Leonardo *et al.* (2019) evidenciaram que as atividades antrópicas de irrigação na região do sertão Pernambucano provocam alterações na cobertura vegetal nativa. A análise das variações ocorridas na cobertura vegetal e do uso e ocupação do entorno dos corpos hídricos vem sendo desenvolvida por pesquisadores a partir de aplicações do SR, utilizando os 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, segundo Bezerra *et al.* (2019).

Entre diversas técnicas, destacam-se os índices de vegetação e água, empregados para análise da configuração da superfície terrestre através dos comportamentos espectrais das feições georreferenciadas. As séries temporais de imagens de satélite permitem avaliar os fatores de risco e de potencial presentes dentro de um ambiente natural ou antropizado, visando adequação de uso, exploração, conservação, mitigação e priorização de respostas (Carvalho Júnior, 2018; Leonardo *et al.*, 2019). Os índices de sensoriamento remoto óptico desempenham um papel importante na extração de informações sobre a vegetação e têm servido amplamente à ecologia, à agricultura e à silvicultura, ao monitoramento urbano e outras comunidades (Gu *et al.*, 2021).

Técnicas de SR foram aplicadas por Alves *et al.* (2021) para analisar o estresse hídrico da cobertura vegetal em áreas de cultura no estado do Paraná. Os autores destacaram que as técnicas de SR constituem ferramentas eficientes na análise do déficit hídrico da região concluindo que a resposta espectral se correlaciona com a produtividade e possibilita identificar o status hídrico da cobertura analisada.

Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas com a aplicação dos índices biofísicos. Gameiro *et al.* (2017) utilizaram o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e o Índice de Área Foliar (IAF) para avaliar a variação da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe, obtendo alto desempenho na identificação e na quantificação das classes de cobertura vegetal predominantes na região. Pesquisadores como Mustafa *et al.* (2017), Ali *et al.* (2019), e Silva *et al.* (2019b) utilizaram o Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado (MNDWI) e o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) para analisar da variação da superfície de corpos hídricos.

A análise da variabilidade do uso e ocupação do solo na região semiárida de Pernambuco foi realizada por Lima *et al.* (2017), Gomes *et al.* (2017) e Almeida *et al.* (2018), utilizando a aplicação do MapBiomass, que é o projeto de Mapeamento Anual de Cobertura e Uso do Solo do Brasil. O referido projeto reúne uma rede colaborativa nas áreas de SR, biomas, usos da terra, SIG e ciência da computação, segundo MapBiomass (2019), utilizando processamento em

nuvem e classificadores automatizados, desenvolvidos e operados a partir da plataforma Google Earth Engine, que permite gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil.

Conforme Salgueiro *et al.* (2020), as pesquisas do mosaico vegetado e hídrico da superfície, utilizando índices espectrais com alcance a áreas extensas, é de fundamental importância para os recursos hídricos, como é o caso do reservatório Engenheiro Francisco Sabóia, conhecido comumente como Poço da Cruz, e que é considerado o maior do estado de Pernambuco em capacidade de armazenamento, estando localizado na bacia hidrográfica do Rio Moxotó. Assim, diante da relevância da existência de corpos hídricos, principalmente no sertão, para o desenvolvimento e a subsistência das comunidades, o presente trabalho idealizou como objetivo analisar, utilizando o sensoriamento remoto, as variações geoespacializadas ocorridas no uso e ocupação do solo, na vegetação e na área superficial do espelho d'água do reservatório de Poço da Cruz, no estado de Pernambuco, ao longo de 20 anos. Dessa forma, buscar-se-á avaliar como

a cobertura vegetal e a área do reservatório foram afetados pela baixa precipitação pluviométrica ocorrida ao longo dos anos de seca na região. Para isso, serão empregadas imagens georreferenciadas de satélites Landsat, utilizadas para o cálculo de índices espectrais MNDWI, NDWI, SAVI, IAF e ferramentas do projeto MapBiomias da coleção 5.0.

Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo (Figura 1), no município de Ibimirim, situa-se na região Nordeste do Brasil no estado de Pernambuco, que é dividido em 5 mesorregiões: Sertão, São Francisco, Agreste, Zona da Mata, e Região Metropolitana. O município de Ibimirim está localizado no Sertão Pernambucano, mais precisamente nas coordenadas 8° 32' 29" de latitude sul, 37° 41' 25" de longitude oeste, 395 metros de altitude, abrangendo uma expansão territorial de 1.906,437 km², com população estimada no ano de 2020 de 29.585 habitantes, e densidade demográfica de 14,14 hab/km², conforme dados do IBGE (2021).

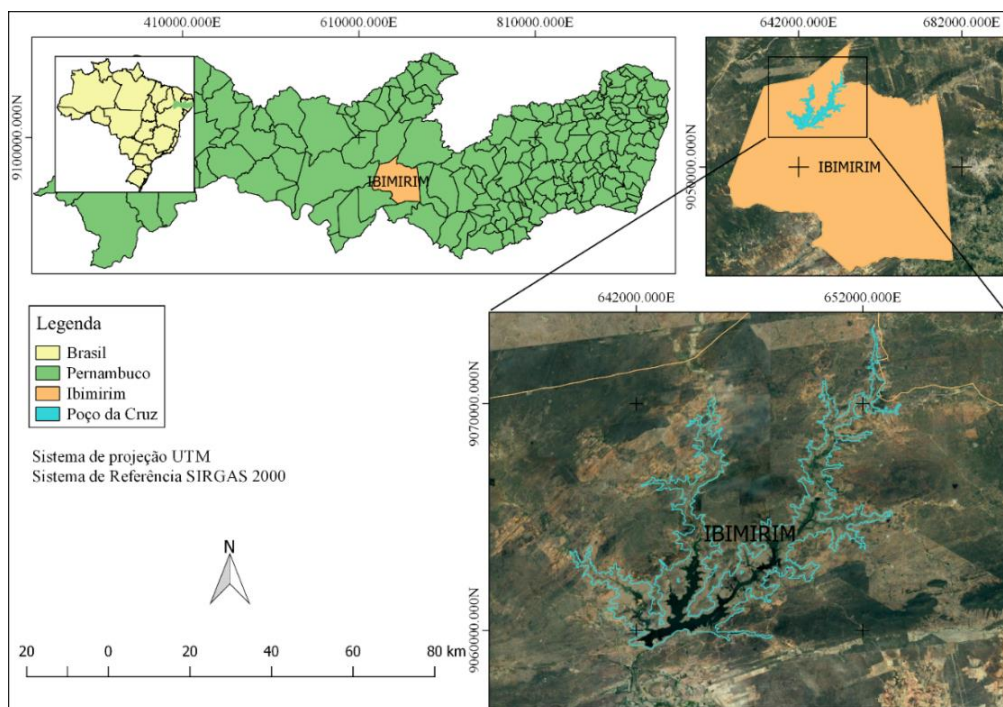


Figura 1. Localização da área de estudo.

O enfoque de análise desse estudo é o reservatório Engenheiro Francisco Sabóia, conhecido comumente como Poço da Cruz, pertencente à bacia hidrográfica do rio Moxotó. Conforme Bezerra *et al.* (2019), a principal

finalidade do reservatório é a irrigação, mas também, com um pequeno aproveitamento, a geração de energia. O reservatório Poço da Cruz se insere em uma bacia hidrográfica de 5.000 km², tem profundidade máxima que varia entre 37 e 50

m, e contribuição direta de onze riachos e quatro rios: Moxotó, Cupity, Mel e Piutá. De acordo com Aguiar (2019), o reservatório de Poço de Cruz foi projetado pela Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas – IFOCS (atual Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS), localizado em uma região de clima semiárido quente, caracterizado pela insuficiência hídrica e grande irregularidade de precipitação pluviométrica.

Distribuição pluviométrica de 2000 a 2020.

Para a identificação dos índices pluviométricos da área estudada utilizou-se o banco de dados disponibilizado pela Agência

Pernambucana de Águas e Clima (APAC), referentes ao posto 14, situado no município de Ibimirim. Foram estudados os dados pluviométricos médios mensais do ano de 2000, referente à data da imagem TM Landsat 5, e os dados pluviométricos médios mensais dos anos de 2013 e 2020, referentes às datas das imagens do OLI Landsat 8.

Observou-se uma redução da precipitação pluviométrica na região a partir do ano de 2011, sendo caracterizados como os anos de menores precipitações pluviométricas: 2012, 2013 e 2015, com um precipitado anual de 124,6 mm, 234,0 mm e 238,5 mm, respectivamente (Figura 2).

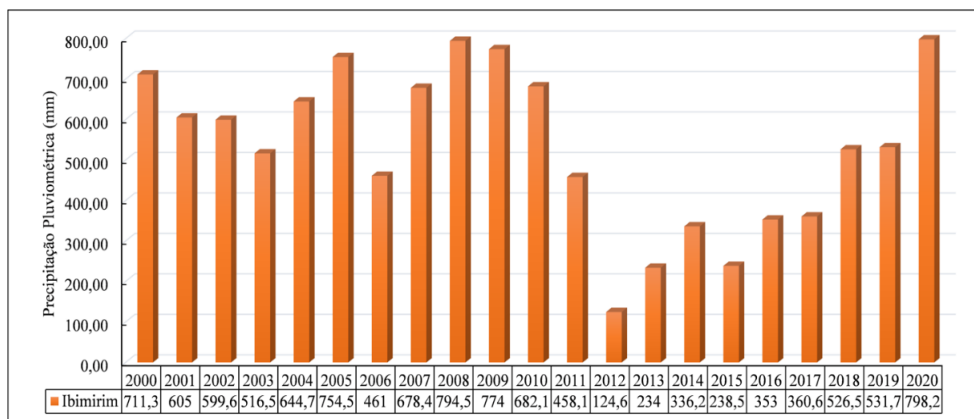


Figura 2. Precipitação pluviométrica anual (mm), dos anos de 2000 a 2020, do município de Ibimirim – PE. Fonte: APAC (2021).

A comparação dos dados dos anos de estudos evidenciou a ocorrência de uma maior precipitação pluviométrica em 2020 com um total anual de 798,2 mm. Para o ano de 2000, esse total foi de 711,3 mm, enquanto para o ano de 2013 o total foi de 234,00 mm.

Observou-se na Figura 3 que os dados de precipitação mensal dos anos selecionados referem-se aos meses de maior precipitação pluviométrica de janeiro a maio, ressaltando-se uma redução no total precipitado a partir do mês de junho.

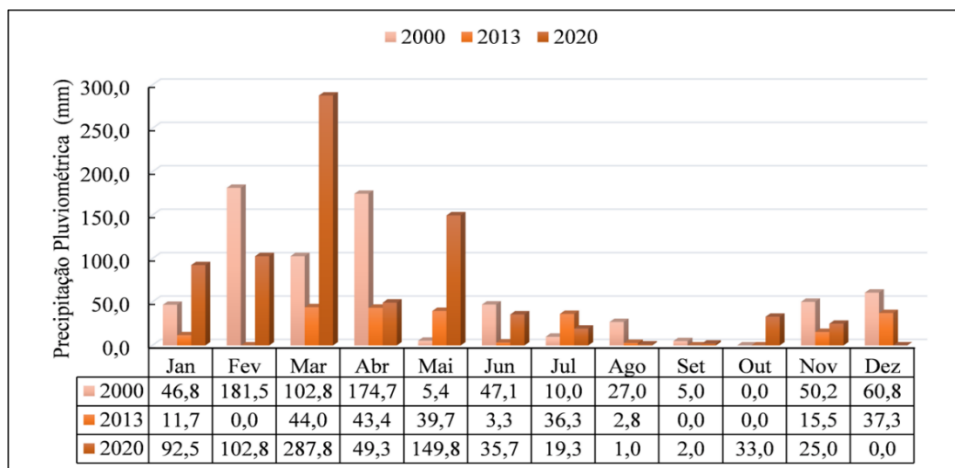


Figura 3. Precipitação pluviométrica mensal (mm), dos anos de 2000, 2013 e 2020, do município de Ibimirim – PE. Fonte: APAC (2021)

Pré-processamento

As imagens utilizadas foram obtidas gratuitamente pelo site do United States Geological Survey (USGS). Foi verificado quais meses apresentavam imagens com a menor incidência de nuvens na área de estudo, e, com base nesse critério, foram selecionadas as imagens referentes

às datas de 06 de dezembro de 2000, do satélite *Land Remote Sensing Satellite* (Landsat 5), sensor *Thematic Mapper* (TM), órbita 215 e ponto 66, de 10 de dezembro de 2013 e de 10 de outubro de 2020, do satélite *Land Remote Sensing Satellite* (Landsat 8), sensor *Operational Lander Imager* (OLI) composta por bandas espectrais, Tabela 1.

Tabela 1. Dados da imagem: data, hora, ângulo de elevação do Sol, órbita e ponto do satélite.

DATA	HORA (UTM)	ÂNGULO DE ELEVAÇÃO DO SOL	ÓRBITA	PONTO
06/12/2000	12:14:53	57,0192		
10/12/2013	12:13:14	61,2835	215	66
10/10/2020	12:35:58	65,3775		

Fonte: USGS (2021).

Após a aquisição das imagens, realizou-se a reprojeção e os arquivos vetoriais/*raster* para o Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), UTM fuso 24 Sul. Em seguida, realizou-se o recorte das imagens na área referente ao entorno do reservatório Poço da Cruz, e o

processamento utilizando a ferramenta “Calculadora *Raster*” do *software* QGIS versão 2.18.16. para a aquisição dos parâmetros biofísicos MNDWI, NDWI, SAVI e IAF, conforme Figura 4, em que estão explicitadas as etapas para o processamento digital das imagens.

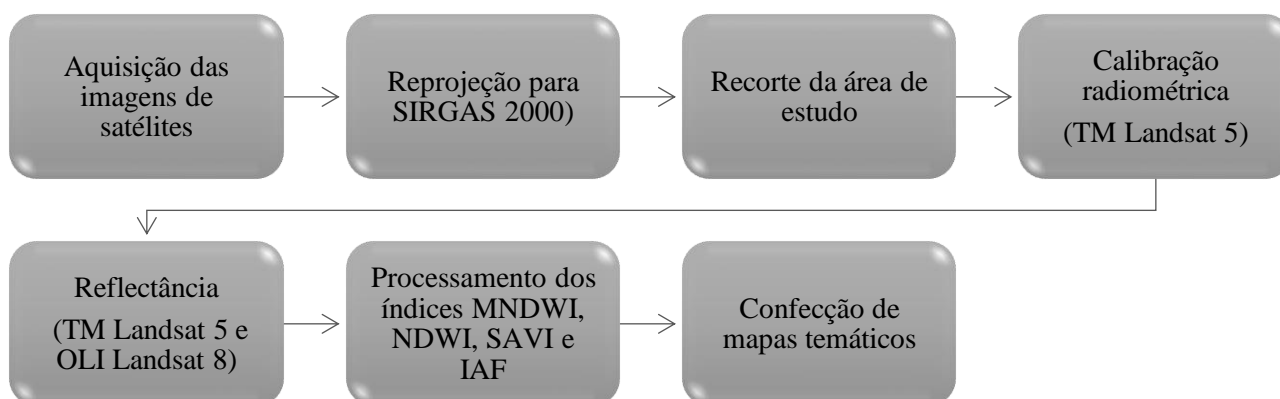


Figura 4. Fluxograma com as etapas de processamento.

Processamento das imagens - TM Landsat 5

Para o processamento dos índices biofísicos, realizou-se o cálculo da radiância espectral e da reflectância das bandas 3, 4, 5 e 6 do TM Landsat5. Inicialmente, com a finalidade de converter o número digital (ND) em radiância espectral de cada banda, realizou-se a calibração radiométrica, utilizando a equação de Markham e Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} \text{ND} \quad (1)$$

em que: $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda ($\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$), a e b são as radiâncias espectrais mínimas e máximas de cada banda do TM Landsat 5 (Tabela 2).

Em conformidade com Allen *et al.* (2007), calculou-se a reflectância monocromática de cada banda ($\rho_{\lambda i}$), sendo essa a razão entre o fluxo de radiação refletida e o fluxo de radiação incidente:

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

$$\cos Z = \cos \left(\frac{\pi}{2} - E \right) \quad (3)$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left(\frac{\text{DSA} \cdot 2\pi}{365} \right) \quad (4)$$

em que: $\rho_{\lambda i}$ é a reflectância monocromática de cada banda, $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral, $K_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral no topo da atmosfera, Z é o ângulo zenital e d_r a distância Terra-sol.

Tabela 2. Dados de comprimento de onda (μm), coeficiente de calibração ($\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) e irradiância espectral no Topo da Atmosfera – $K\lambda_i$ ($\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$) do TM Landsat5.

BANDAS	COMPRIMENTO DE ONDA (MM)	COEFICIENTES DE CALIBRAÇÃO ($\text{WM}^{-2}\text{SR}^{-1}\text{MM}^{-1}$)		IRRADIÂNCIA ESPECTRAL NO TOPO DA ATMOSFERA – $K\lambda_i$ ($\text{WM}^{-2}\text{MM}^{-1}$)
		A	B	
2 (Verde)	0,520 – 0,600	-2,84	365,00	1826
3 (Vermelho)	0,626 – 0,693	-1,17	264,30	1536
4 (IVp – próximo)	0,776 – 0,904	-1,51	206,20	1031
5 (IVm – médio)	1,567 – 1,784	-0,37	27,19	220
6 (IVt – termal)	10,45 – 12,42	1,2378	15,3032	

Fonte: Adaptado de Chander *et al.* (2009).

Processamento das imagens - OLI Landsat 8

O processamento das imagens Landsat 8 OLI se deu em conformidade com Silva *et al.* (2016): para conversão dos valores quantizados e

calibrados (ND) do sistema sensor Landsat 8 OLI para reflectância espectral, utilizou-se coeficientes radiométricos disponibilizados no arquivo de metadados das imagens e informações de características do sensor (Tabela 3).

Tabela 3. Dados de comprimento de onda (μm) e resolução espacial (m x m) das imagens do OLI Landsat8

BANDAS	COMPRIMENTO DE ONDA (MM)	RESOLUÇÃO ESPACIAL (M X M)
3 (Verde)	0,452 – 0,512	30
4 (V - Vermelho)	0,640 – 0,670	30
5 (IVp – Próximo)	0,850 – 0,880	30
6 (IVt – Médio)	1,570 – 1,650	30
10 (IVt – Termal)	10,6 – 11,19	100

Fonte: Adaptado de Zhang *et al.* (2018).

Assim, os números digitais de cada *pixel* e banda, foram convertidos para reflectância planetária a partir de fatores aditivo e multiplicativo, reportados no ficheiro de metadados da imagem. No entanto, é necessário corrigir a reflectância de acordo com o ângulo zenital solar - Z e o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol e a distância Terra-Sol na data da obtenção da imagem orbital - d_r (obtido com base na distância Terra-Sol - d_{TS} , disponível no arquivo metadados da imagem, em unidade astronômica):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{(A_{\rho_i} + M_{\rho_i} \cdot ND_i)}{\cos Z \cdot d_r} \quad (5)$$

$$d_r = \left(\frac{1}{d_{TS}}\right)^2 \quad (6)$$

em que: ρ_{λ_i} (adimensional) é a reflectância planetária no topo da atmosfera de cada banda i ; A_{ρ_i} é o fator aditivo de redimensionamento de cada banda (disponível no arquivo metadados da

imagem); M_{ρ_i} 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 é considerado o $Z = 90 - E$.

Cálculo dos índices biofísicos

O MNDWI (Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado), foi proposto por Xu (2006), modificando o NDWI proposto por McFeeters (1996). Essa modificação permite o maior destaque do delineamento dos corpos hídricos dos demais alvos da superfície terrestre, calculado por meio da razão entre a reflectância das bandas verde (ρ_{Verde}) e infravermelho médio (ρ_{IVm}):

$$\text{MNDWI} = \frac{(\rho_{Verde} - \rho_{IVm})}{(\rho_{Verde} + \rho_{IVm})} \quad (7)$$

Utilizou-se o MNDWI para o cálculo da área superficial do espelho d'água do corpo hídrico nos anos de estudo, envolvendo as seguintes etapas: representação da água, poligonização e tabela de atributos. A partir do MNDWI, calculado para cada ano, utilizou-se a “Calculadora *Raster*” para o cálculo do MNDWI referente às áreas com presença de água, correspondentes aos *pixels* com valores positivos do índice espectral.

Aplicou-se a ferramenta de poligonização para converter os *raster* referentes ao MNDWI da água em vetor, obtendo-se o *shape* correspondente às áreas com presença de água na cena. Utilizou-se a ferramenta de “Selecionar Feições” para a seleção e separação do *shape* correspondente ao reservatório em análise, em seguida, aplicou-se a tabela de atributos para o cálculo da área do reservatório.

O Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) foi proposto por Gao (1996) e permite detectar melhor a mudança da biomassa vegetal no que concerne à quantidade de água em culturas agrícolas, pela configuração do estresse hídrico no ambiente. Obtido em função da reflectância da banda do infravermelho próximo (ρ_{IVp}) e a reflectância da banda do infravermelho médio (ρ_{IVm}):

$$NDWI = \frac{(\rho_{IVp} - \rho_{IVm})}{(\rho_{IVp} + \rho_{IVm})} \quad (8)$$

O SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo) leva em consideração efeitos do solo exposto nas imagens analisadas, calculado em conformidade com Huete (1988) utilizou-se a Equação 9, em que ρ_{IVp} refere-se a banda do infravermelho próximo, ρ_{IV} a banda do vermelho, L é uma constante para o índice, apresentada frequentemente na literatura com um valor de 0,5.

$$SAVI = \frac{(1 + L) * (\rho_{IVp} - \rho_V)}{L + \rho_{IVp} + \rho_V} \quad (9)$$

O IAF (Índice de Área Foliar) é a razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação, utilizado como indicador da biomassa de cada *pixel* da imagem, foi processado em conformidade com Allen *et al.* (2007):

$$IAF = - \frac{\ln \left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59} \right)}{0,91} \quad (10)$$

Classificação do uso e cobertura do solo

Realizou-se a análise do uso e cobertura do solo da área de estudo a partir da utilização de produtos provenientes do Projeto MapBiomass, onde os mapas anuais de cobertura e uso do solo são produzidos a partir da classificação *pixel a pixel* das imagens dos satélites *Landsat*. O processo é feito com extensivos algoritmos *machine learning* através da plataforma do *Google Earth Engine* (MapBiomass, 2021), Figura 5.

Inicialmente realizou-se o carregamento dos arquivos do *shapefile* do município de Ibimirim, em seguida utilizou-se o *script* do *Google Earth Engine* para baixar os mapas, selecionou-se a região do projeto MapBiomass Brasil, a coleção 5.0, o polígono da máscara referente à área de estudo, e os anos de aplicação para análise, posteriormente realizou-se a exportação dos mapas.

Os mapas gerados foram exportados para o *software* QGIS versão 3.16. Utilizou-se a ferramenta “*r.report*”, da “Caixa de Ferramentas de Processamento”, para o cálculo das áreas, foi gerado um arquivo de texto com as áreas calculadas. O produto foi utilizado para a composição dos mapas de análise.

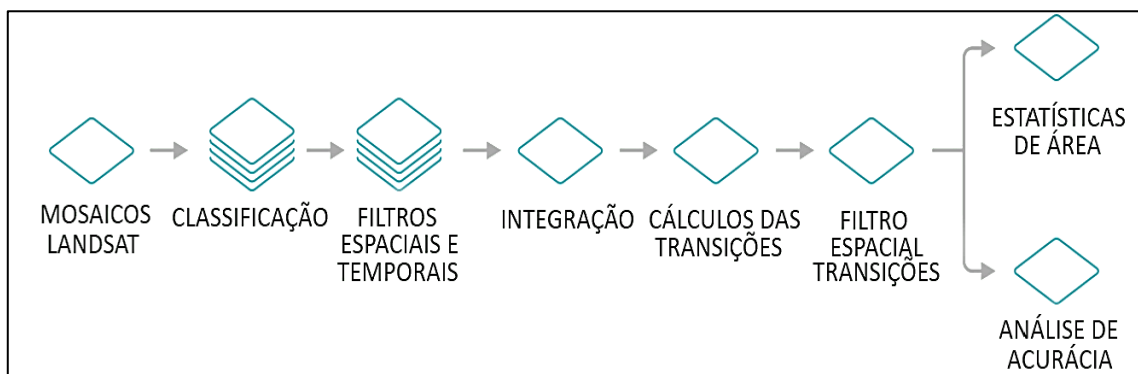


Figura 5. Etapas de processamento do MapBiomass. Fonte: MapBiomass (2019).

Resultados e discussão

Apresenta-se na Figura 6, o MNDWI na região do entorno do reservatório de Poço da Cruz para os anos de 2000, 2013 e 2020. Semelhantemente ao NDWI, o MNDWI apresenta valores entre -1 e +1, sendo uma modificação do índice anterior. O MNDWI é capaz de detectar o corpo hídrico com maior delineamento, separando de maneira mais eficaz os demais alvos da superfície.

O índice apresentou valores mais elevados no corpo hídrico para os anos de 2013 e 2020, comparados com o ano de 2000, sendo evidenciado pela cor azul mais intenso, característica da classe com valores superiores a 0,624. A presença de água é indicada pelas classes do índice com valores positivos, caracterizadas pelas colorações branca e azul.

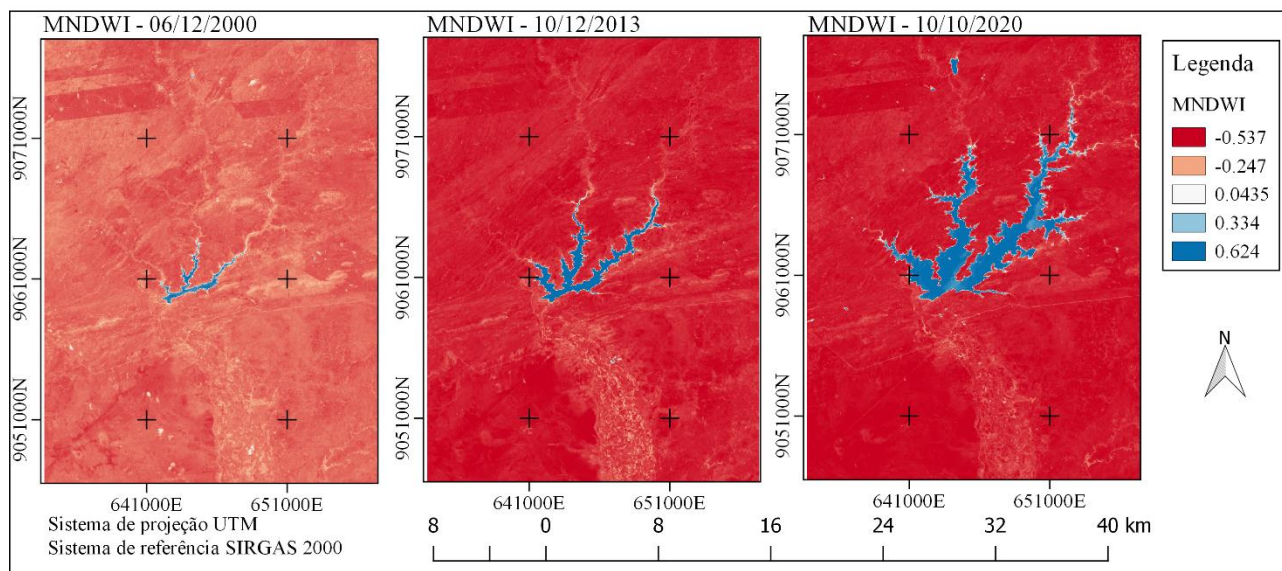


Figura 6. MNDWI da região de estudo nos anos de 2000, 2013 e 2020.

Observou-se que o ano de 2000 apresentou um menor valor para o índice na região do reservatório, com valores entre 0,334 e 0,624, caracterizados pela coloração azul claro. Na análise dos dados pluviométricos diários para o ano de 2000, ressalta-se que, apesar do ano apresentar um volume precipitado anual significativo, na data da imagem analisada observou-se um período de 31 dias sem precipitação pluviométrica (11 de novembro de 2000 a 11 de dezembro de 2000), contribuindo provavelmente para o menor espelho d'água do reservatório no período estudado.

O ano de 2013 foi caracterizado pela seca devido aos baixos índice pluviométricos, com um total de 234 mm precipitados comparados aos 798,2 mm do ano de 2020.

Bhunia (2021) aplicou o MNDWI para avaliar a variação de corpos d'água superficiais entre os anos de 1990 e 2018. De acordo com o autor, o índice apresentou elevada eficiência no monitoramento, com precisão das águas superficiais, destacando o aumento ocorrido na

área do espelho d'água do corpo hídrico analisado ao longo dos anos de estudo.

Na Figura 7 apresenta-se o perfil longitudinal traçado na parte inicial do reservatório, e a análise da variação do índice entre as áreas de solo e do corpo hídrico. Evidenciou-se que nas regiões de solo exposto e da vegetação, o MNDWI apresentou valores negativos. A análise do perfil ressaltou que os anos de 2020 e 2013 apresentaram valores mais baixos para o MNDWI na região de solo no entorno do reservatório, com valores entre -0,400 e -0,600, em comparação com o ano 2000, indicando menor presença de água na região, caracterizando um estresse hídrico sofrido pela cobertura vegetal. Os dados estatísticos para o MNDWI foram observados na Tabela 4, descrevendo que o ano de 2013 apresentou o menor valor médio para o índice, indicando que a cobertura vegetal desse ano foi afetada pela irregularidade e pela escassez de eventos chuvosos, em comparação com os anos de 2000 e 2020.

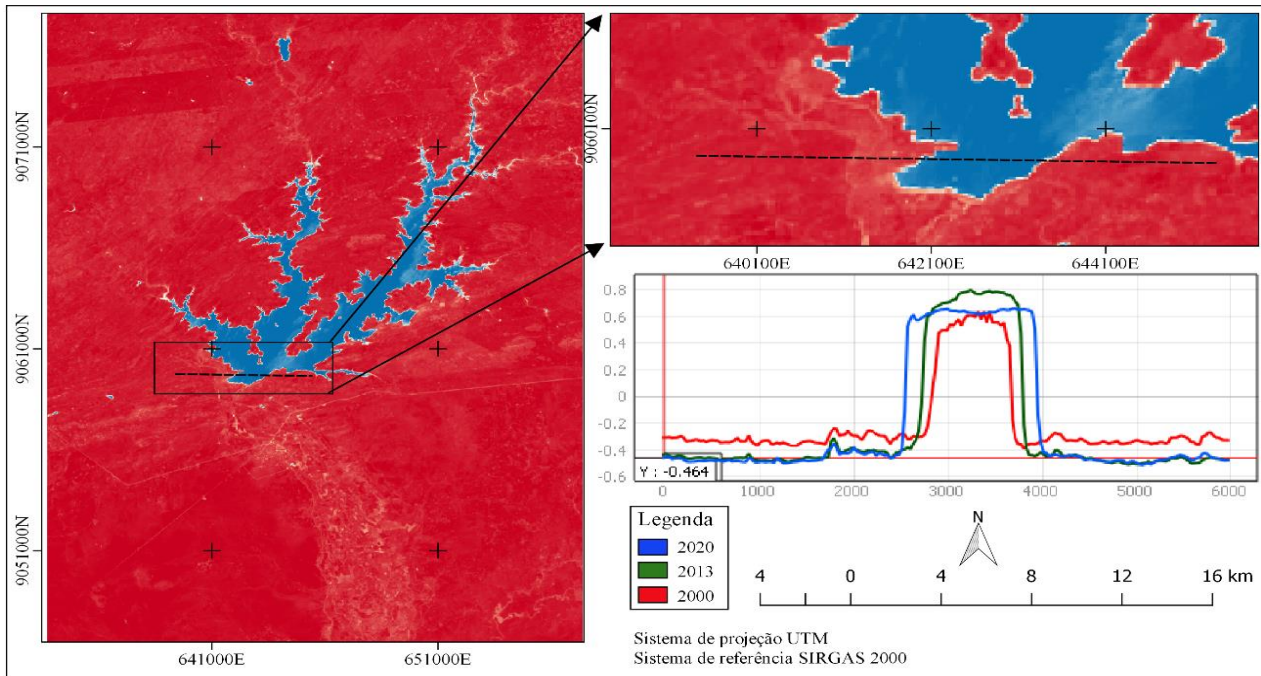


Figura 7. Perfil Longitudinal do MNDWI da região de estudo nos anos de 2000, 2013 e 2020.

Tabela 4. Valores estatísticos de MNDWI nos anos de 2000, 2013 e 2020.

ANO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
2000	0,641	-0,477	-0,347	0,062
2013	0,895	-0,611	-0,462	0,134
2020	0,836	-0,598	-0,443	0,224

A realização da técnica de vetorização possibilitou o cálculo da área utilizando ferramentas do QGIS. A análise comparativa da

área superficial do espelho d'água do reservatório foi detalhada na Figura 8 para os anos de 2000, 2013 e 2020.

Observou-se na Figura 8 que há um aumento no suprimento hídrico do reservatório entre os anos de 2000 e 2020 indicado pela elevação da precipitação pluviométrica anual na região (Figura 3). A área superficial do espelho d'água, calculada para o reservatório de Poço da Cruz, nos anos de análise, foi detalhada na Tabela 5, sendo obtidos com o emprego do geoprocessamento.

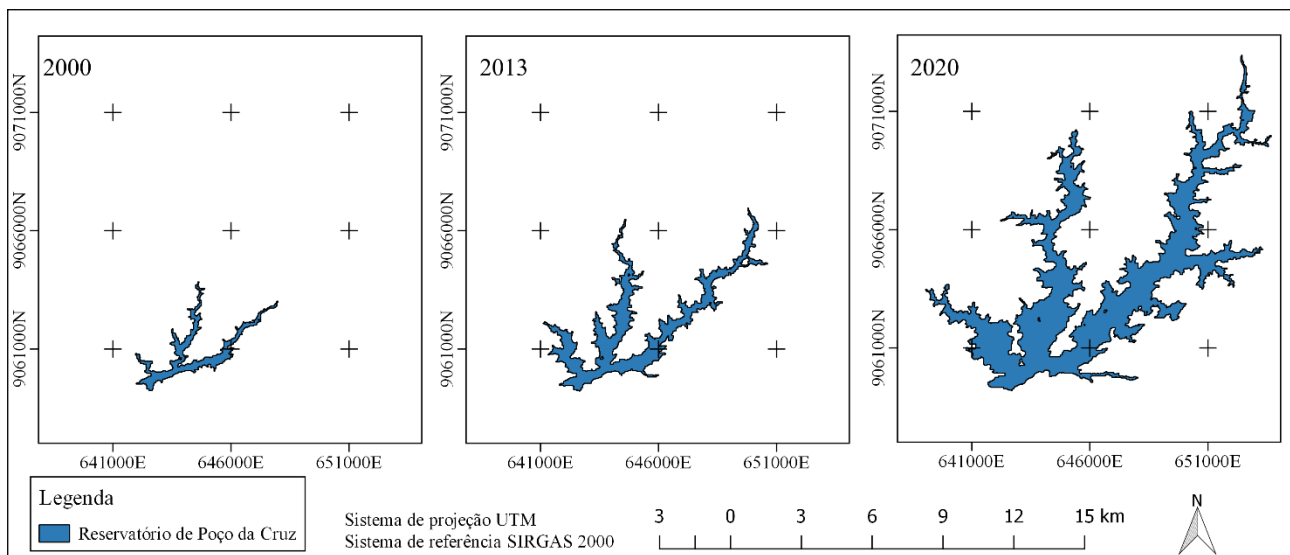


Figura 8. Área superficial do espelho d'água do reservatório de Poço da Cruz nos anos de 2000, 2013 e 2020.

Bezerra *et al.* (2019) realizaram o cálculo da área superficial do espelho d'água para a mesma região e evidenciaram redução considerável entre os meses de agosto e dezembro do mesmo ano, evidenciando comportamento similar ao observado nesta pesquisa.

Observou-se aumento de 31.654.800,00 m² de área entre 2000 e 2020. Fator de grande relevância visto que o reservatório de Poço da Cruz é um açude público federal composto de 562 lotes agrícolas, sendo o principal responsável pelo fornecimento de água para a cultura agrícola e pelo consumo humano da região, conforme Aguiar (2019). Ainda conforme esse mesmo autor, períodos longos de estiagem são danosos, pois a principal atividade econômica do município de Ibimirim é a agricultura e a pecuária, e ambas as atividades são diretamente dependentes da climatologia e impactam na economia local, com perdas na produção agrícola, e desnutrição e morte de animais.

Tabela 5. Área superficial do reservatório de Poço da Cruz.

ANO	ÁREA (M ²)
06/12/2000	3.123.000,00
10/12/2013	9.953.100,00
10/10/2020	34.777.800,00

Apesar de constituir a menor área do corpo hídrico, o ano de 2000, apresentou um crescimento nos *pixels* de água foliar, caracterizado pelos valores de NDWI mais elevados (Figura 9), evidenciado pela menor predominância da coloração vermelha, classificando-se entre as classes de 0,016 e -0,122, indicativos de uma melhor caracterização da cobertura vegetal, com maior presença de umidade, corroborando com os dados pluviométricos. Como detalhado na Tabela 6, o ano de 2000 apresentou os maiores valores estatísticos para a média, correlacionando com os valores médios dos outros dois anos pesquisados.

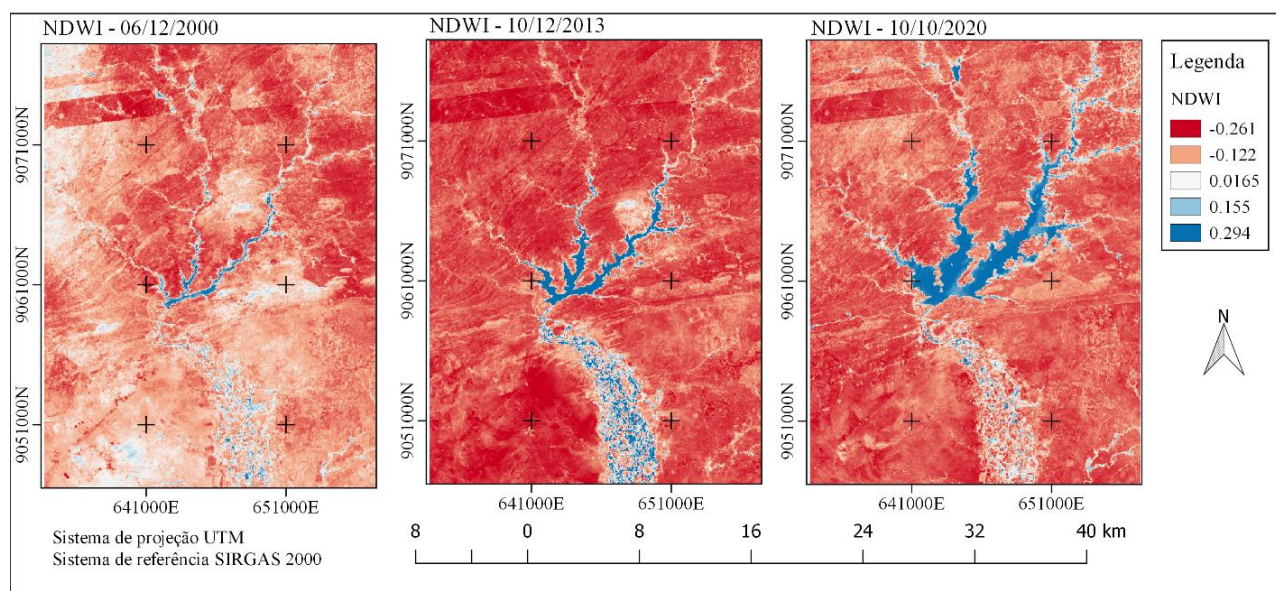


Figura 9. NDWI da região de estudo nos anos de 2000, 2013 e 2020.

Tabela 6. Valores estatísticos de NDMI nos anos de 2000, 2013 e 2020.

ANO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
2000	0,365	-0,299	-0,117	0,076
2013	0,736	-0,329	-0,171	0,103
2020	0,551	-0,301	-0,139	0,107

O ano de 2013 foi caracterizado pelos menores valores do índice no entorno do reservatório, com valores médios de -0,261, classe

indicada pela cor vermelha, indicando a baixa umidade na cobertura vegetal local, caracterizando uma vegetação mais seca, provavelmente, decorrente da ausência de evento chuvoso. Em comparação com o ano de 2013, foi evidenciado um aumento na umidade da cobertura vegetal para o ano de 2020, ocasionado pela elevação da pluviometria anual (Figura 3), e consequente aumento do suprimento hídrico da região.

Nas três datas estudadas, observou-se que o NDWI apresentou concentração de valores mais baixos na cobertura vegetal, indicando uma

predominância de áreas degradadas com baixo teor de umidade na vegetação. Enquanto no espelho d'água configuraram-se os maiores valores dos *pixels*. Como detalha Silva (2020), o NDWI apresenta maior efetividade para distinguir claramente áreas irrigadas de áreas não irrigadas.

A aplicação de índices de vegetação para avaliação da cobertura vegetal foi realizada por Gameiro *et al.* (2017). De acordo com os autores, o SAVI apresenta valores amplos em suas médias e,

assim, ressalta as características, tanto das regiões vegetadas quanto das não vegetadas e dos corpos d'água. Conforme detalhado na Figura 10, o SAVI foi processado para os anos de análise e os corpos hídricos foram demarcados pela presença de valores negativos do índice, e os valores positivos caracterizaram as áreas com presença de vegetação. Valores mais elevados caracterizam uma cobertura vegetal mais densa e de maior porte.

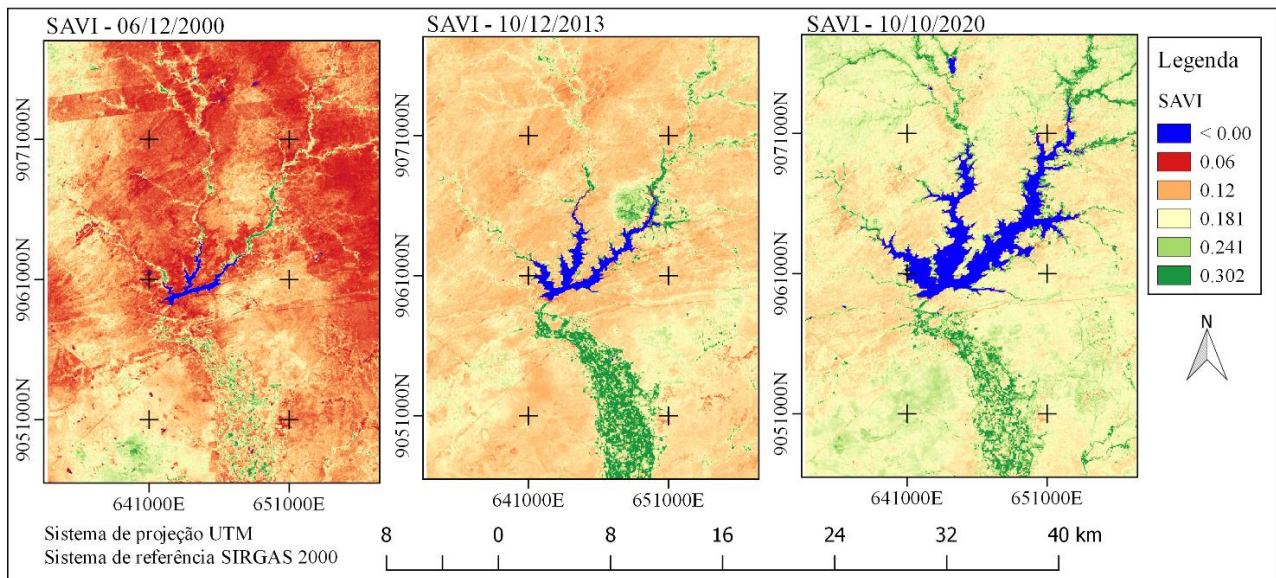


Figura 10. SAVI da região de estudo nos anos de 2000, 2013 e 2020.

Observou-se que o ano de 2000 foi caracterizado pelo tom de vermelho demarcando valores de SAVI entre 0,06 e 0,12, ressaltando o estresse hídrico sofrido pela vegetação. Pereira *et al.* (2020) afirmaram que uma concentração de valores de SAVI entre -0,155 e 0,290 são indicativos de terras com maior desenvolvimento de atividades humanas e, portanto, com paisagens mais degradadas, como nas áreas de solo exposto e de vegetação mais rarefeita. O NDWI indicou baixa presença de umidade na vegetação, nas mesmas áreas em que o SAVI indicou cobertura com menor vigor vegetativo.

No ano de 2013, foi possível evidenciar uma melhora no aspecto geral da cobertura vegetal da região com a elevação do SAVI, apresentando uma coloração predominantemente alaranjada com valores do índice entre 0,181 e 0,12. Destacou-se que no ano de 2020, há um aumento no valor do SAVI nas áreas caracterizadas pela coloração verde, classificadas com valores entre 0,241 e 0,302, indicando a presença de vegetação com maior irrigação. A análise da cobertura vegetal com a aplicação de SR realizada por Marković *et al.*

(2021) ressaltou que há uma correlação positiva significativa entre os índices de vegetação espectrais e a quantidade de precipitação durante a estação de crescimento. Conforme os resultados evidenciados por Pereira *et al.* (2020), uma concentração de valores de SAVI entre 0,291 e 0,730 são representativos de uma vegetação mais preservada, similar ao observado nesta pesquisa.

A Figura 11 ilustrou o perfil longitudinal do SAVI na região do início do reservatório de Poço da Cruz. A análise do perfil permitiu observar o aumento característico ocorrido na área do corpo hídrico ao longo dos 20 anos, condizente com os resultados obtidos pela análise do MNDWI (Figura 7).

O perfil longitudinal (Figura 11) proporciona a identificação da variação do valor do SAVI ao longo dos anos, onde foi investigado um aumento dos valores do índice de vegetação na área de estudo como um todo, caracterizando uma ampliação na presença de água na cobertura vegetal, condizente com os resultados obtidos pela análise do MNDWI e do NDWI, corroborando com os valores estatísticos observados na Tabela 7

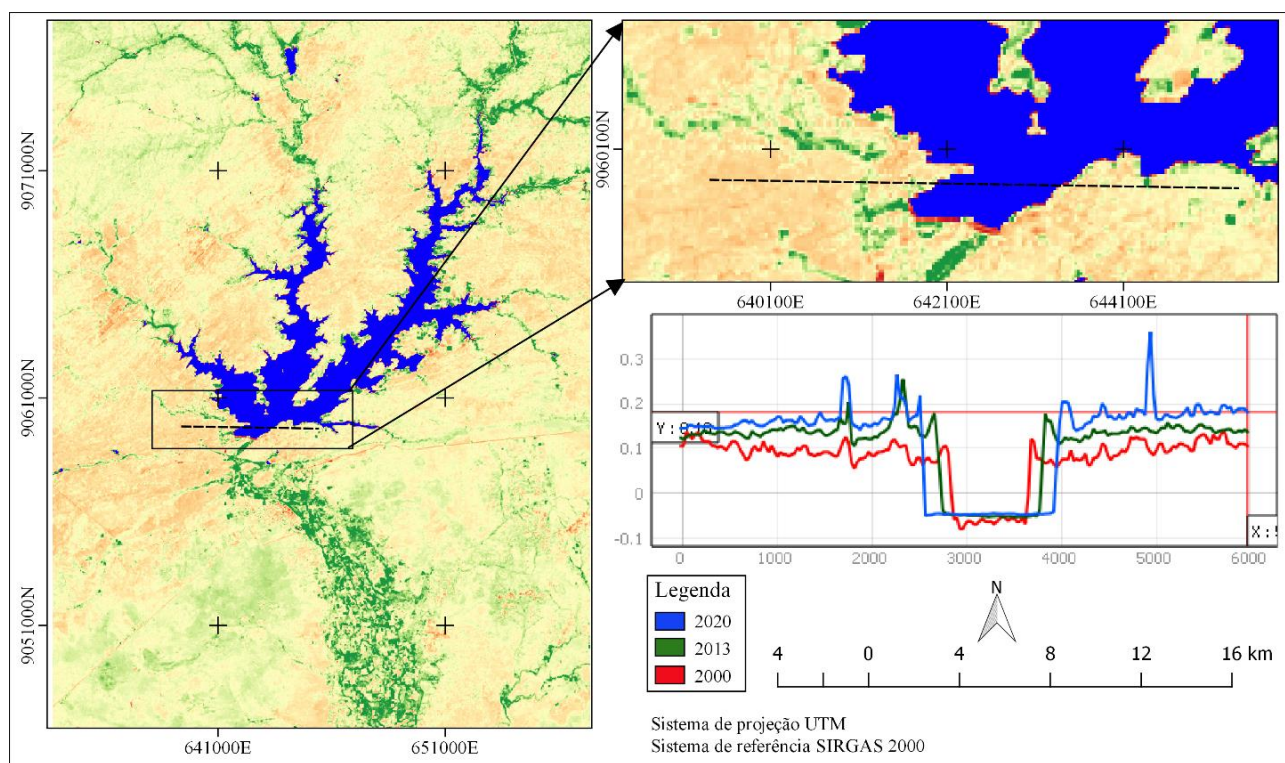


Figura 11. Perfil Longitudinal do SAVI da região de estudo nos anos de 2000, 2013 e 2020.

Tabela 7. Valores estatísticos de SAVI nos anos de 2000, 2013 e 2020.

ANO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
2000	0,419	-0,097	0,118	0,044
2013	0,692	-0,059	0,160	0,056
2020	0,609	-0,080	0,176	0,061

Pereira *et al.* (2020) constataram que a vegetação da Caatinga é bastante sensível às variações de precipitação, com a maioria das espécies perdendo todas as suas folhas na estação seca e recuperando-as rapidamente quando começa o período chuvoso. Portanto, a variável precipitação é de extrema importância para compreensão da resposta dos índices de vegetação.

Os índices de vegetação têm um papel significativo na detecção e rastreamento de mudanças na vegetação, seja em termos de quantidade ou qualidade (Vela, Miljković e Babić, 2020). Os valores de IAF observados na Figura 12, condizem com os resultados destacados pelo SAVI. O crescimento vegetativo é altamente influenciado pela disponibilidade hídrica da região,

em que os baixos índices pluviométricos limitam o desenvolvimento da vegetação. Pesquisas desenvolvidas por Boratto e Gomide (2013) e Coutinho *et al.* (2016) evidenciaram que os valores apresentados pelo IAF se correlatam com as condições hídricas tendendo a subir conforme aumenta o vigor da vegetação.

No ano de 2000, foram observados valores predominantemente baixos do IAF, na classe de 0,200 identificada pela coloração vermelha, indicando regiões com vegetação escassa e seca, caracterizado pelo estresse hídrico evidenciado pelos dados pluviométricos, corroborando com os resultados obtidos por Ivo *et al.* (2018). De acordo com os autores, os maiores valores do IAF são registrados no fim do período chuvoso e os menores valores no final do período seco.

Os resultados do IAF corroboram com os dados da cobertura vegetal indicados pelo SAVI. Os anos de 2020 e 2013 apresentaram melhor cenário da vegetação local, com maior presença de área foliar e de umidade na região. Destacando que ambos os índices de vegetação foram eficientes para a análise da variação temporal da cobertura vegetal da área de estudo.

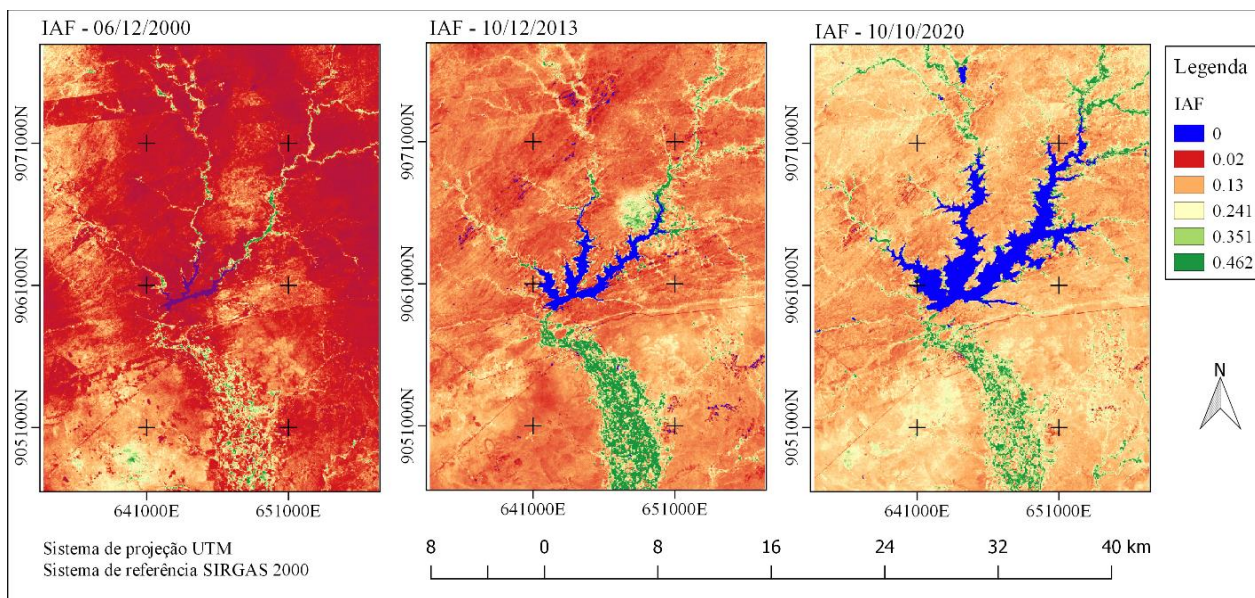


Figura 12. IAF da região de estudo nos anos de 2000, 2013 e 2020.

Pelo método de classificação automatizada do MapBiomas coleção 5.0, observou-se a similaridade com os resultados discutidos pela interpretação visual das cartas do MNDWI, NDWI, SAVI e IAF na região do reservatório de Poço da Cruz (Figura 13).

A Figura 13 detalha a classificação de imagens para os anos de estudo possibilitando a avaliação dos diversos tipos de classes da cobertura do solo. Evidenciou-se que no decorrer dos 19 anos analisados ocorreu aumento no uso do solo para agricultura e pastagem, condizente com o aumento do suprimento hídrico evidenciado na região e com

a ocupação local. No que concerne ao reservatório Poço da Cruz, no ano 2013, observou-se um comportamento semelhante à imagem do MNDWI. Outro ponto importante foi a diminuição do espelho d'água referente ao ano 2019, como detalha as imagens automatizadas provenientes do MapBiomas. Vale ressaltar, que o projeto de mapeamento da plataforma contempla em seu acervo apenas imagens classificadas até o ano 2019, motivo pela qual não foi possível comparar com produtos relacionadas ao ano 2020.

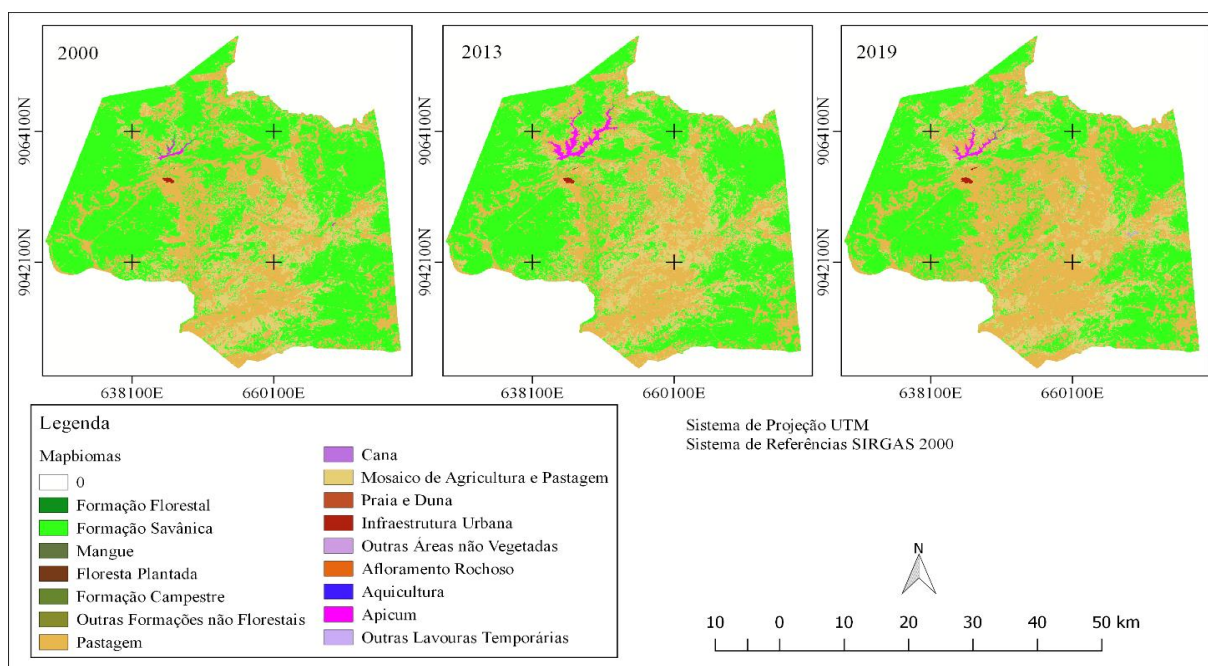


Figura 13. MapBiomas da região de estudo nos anos de 2000, 2013 e 2020. Fonte: MapBiomas (2021).

Conclusões

A aplicação das técnicas de sensoriamento remoto para a análise da variabilidade temporal da cobertura vegetal e do suprimento hídrico da região do reservatório Poço da Cruz, demonstrou rapidez, praticidade e eficiência com o uso do *software* livre QGIS. A utilização de imagens georreferenciadas para o processamento dos índices biofísicos possibilitou resultados semelhantes para a avaliação da cobertura do uso e ocupação do solo, e do corpo hídrico.

A análise do índice MNDWI identificou o aumento na área superficial do reservatório ao longo dos anos de análise, ressaltando que os anos de 2000 e 2013 apresentaram um maior estresse hídrico com redução dos valores do índice nesse período, devido aos baixos índices pluviométricos identificados.

A escassez de água no corpo hídrico se refletiu sobre a cobertura vegetal da região, fator destacado pelos índices NDWI, SAVI e IAF, que apontaram uma cobertura vegetal escassa e seca com baixa umidade para os anos de 2000 e 2013, entretanto, observou-se o aumento do vigor vegetativo e a presença de maior umidade para o ano de 2020.

Condizente com os dados obtidos para o uso e ocupação do solo pelo projeto MapBiomas, indicando que houve um aumento das áreas destinadas à agricultura e pastagem no entorno do reservatório entre os anos de 2000 e 2013, bem como o incremento do espelho d'água.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pelo incentivo a pesquisa e concessão de bolsa de Pós-Graduação da primeira autora (Processo No. IBPG-1425-3.01/19); ao *United States Geological Survey* (USGS) pela aquisição da imagem de satélite; a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) pelo banco de dados hidrológicos; à PROPESQI/UFPE pelo apoio financeiro ao projeto da penúltima autora, Processo N°. 23076.041635/2020-55-Edital Propesqi No. 07/2020; e ao Projeto de pesquisa "Coberturas vegetal e hídrica de bacias hidrográficas utilizando imagens orbitais no estado de Pernambuco", aprovado na Chamada Universal MCTIC/CNPq 2018, Processo N° 433914/2018-1 da última autora.

Referências

- Aguiar, B.K.G., 2019. Análise de constelação em Bacias Hidrográficas no uso e ocupação do solo e da água nas margens do reservatório Poço da Cruz, Ibitimir, Pernambuco, Brasil. Monografia, Departamento Acadêmico de Ambiente, Saúde e Segurança, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Pernambuco, 68 p.
- Ali, M.I., Dirawan, G.D., Hasim, A.H., Abidin, M.R., 2019. Detection of Changes in Surface Water Bodies Urban Area with NDWI and MNDWI Methods. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology* 9, 3, 46-951.
- Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R., 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (Metric) – model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 133, 380-394.
- Almeida, D.N.O., Oliveira, L.M.M., Candeias, A.L.B., Bezerra, U.A., Leite, A.C.S., 2018. Uso e cobertura do solo utilizando geoprocessamento em municípios do Agreste de Pernambuco. *Revista Brasileira de Meio Ambiente* 4, 58-68.
- Andrade, C.B., Omena, J.A.M., Villar, A.C., Gusmão, L., Rodrigues, D.F.B., Oliveira, L.M.M., 2018. Avaliação de índices de vegetação e características fisiográficas no Sertão Pernambucano. *Revista Brasileira de Meio Ambiente* 4, 97-107.
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Climas, 2021. Sistema de Informação Geográfica. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/>. Acesso em: 15/09/2021.
- Alves, D.S., Nitsche, P.R., Cirino, V.M., Scholz, M.B.S., Santos Neto, J., Caramori, P.H., 2021. Remote Sensing allows to estimate water stress and yield losses of bean cultivars. *Irriga* 26, 1, 1-12.
- Bandim, C.G.A., Galvêncio, J.D., 2021. Mapeamento das áreas de armazenamento de água em depressão, usando dados LIDAR: Estudo de caso avenida Caxangá. *Revista Brasileira de Geografia Física* 14, 01, 058-067.
- Barbosa, A.H.S., Cuellar, M.D.Z., Moreira, M.M., Arraes, K.A., Silva, C.S.P., 2021. *Revista Brasileira de Geografia Física* 14, 04, 2220-2241.
- Bezerra, U.A., Silva, L.T.M.S., Oliveira, L.M.M., Ribeiro Neto, A., Almeida, D.N.O., Andrade, J.M., 2019. Comparativo do índice NDWI entre os satélites Landsat-8 e Sentinel-2 no entorno do reservatório Poço da Cruz – PE. *Anais do XXIII*

- Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu, PR, Trabalho XXIII-SBRH0919.
- Bhunja, G.S., 2021. Assessment of automatic extraction of surface water dynamism using multi-temporal satellite data. *Earth Science Informatics* 14, 3, 1433-1446.
- Boratto, I.M.P., Gomide, R.L., 2013. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Foz do Iguaçu, PR, 7345-7352.
- Carvalho Júnior, O.A.C., 2018. Aplicações e perspectivas do Sensoriamento Remoto para o mapeamento de áreas inundáveis. *Revista de Geografia* 35, 4, 412-431.
- Chander, G., Markham, B.L., Helder, D.L., 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment* 113, 893-903.
- Coutinho, M.A.N., Fernandes, A.C.G., Santos, V.G., Nascimento, C.R., 2016. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI, SAVI, RATIO e IAF para identificação de queimadas. *Caderno de Ciências Agrárias* 8, 1, 70-81.
- Farias, M.O., Candeias, A.L.B., Oliveira, L.M.M., Almeida, D.N.O. Tavares Júnior, J.R., 2017. Variabilidade espaço-temporal da cobertura do solo por índices de vegetação e água no Agreste Pernambucano. *Revista Brasileira de Agrotecnologia* 7, 91-99.
- Gameiro, S., Teixeira, C.P.B., Silva Neto, T.A., Lopes, M.F.L., Duarte, C.R., Souto, M.V.S., Zimback, C.R.L., 2017. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. *Terrae* 13, 15-22.
- Gao, B.C., 1996. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment* 58, 3, 257-266.
- Gomes, S.O., Lima, V.N., Candeias, A.L.B., Silva, R.R., 2017. Uso e cobertura dos solos de Petrolândia utilizando MAPBIOMAS. *Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e do XXVI Expositiva*, Rio de Janeiro, RJ, 805-808.
- Gu, L., Shuai, Y., Shao, C., Xie, D., Zhang, Q., Li, Y., Yang, J., 2021. Angle Effect on Typical Optical Remote Sensing Indices in Vegetation Monitoring. *Remote Sensing* 13, 1699.
- Huete, A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25, 3, 295-309.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/ibimirim.html>. Acesso em: 20 de setembro de 2021.
- Ivo, I.O., Biudes, M.S., Machado, N.G., Pavão, V.M., 2018. Influência do desmatamento no índice de área foliar e temperatura da superfície no Cerrado mato-grossense. *Nativa* 6, 4, 364-369.
- Leonardo, H.R.A.L., Oliveira, L.M.M., Oliveira, E.F., Almeida, D.N.O., Paiva, A.L.R., 2019. Geotechnology in the analysis of behavior spectral of natural resources in the Semiarid pernambucano. *Journal of Hyperspectral* 9, 4, 191-203.
- Lima, V.N., Gomes, S.O., Candeias, A.L.B., Silva, R.R., 2017. MAPBIOMAS e uso e cobertura dos solos do município de Brejinho, Pernambuco. *Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e do XXVI Expositiva*, Rio de Janeiro, RJ, 947-951.
- Luz, L.R., Giongo, V., Santos, A.M., Lopes, R.J.C., Lima Júnior, C., 2022. Biomass and vegetation index by remote sensing in different caatinga forest areas. *Ciência Rural* 52, 2, e20201104.
- MapBiomass. Coleção MapBiomass, 2019. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 05/09/2021.
- Markham, B.L.; Barker, J.L., 1987. Thematic Mapper bandpass solar exoatmospheric irradiances. *International Journal of Remote Sensing* 8, 3, 517-523.
- Marković, M., Cheema, J., Teofilović, A., Cepić, S., Popović, Z., Tomićević-Dubljević, J., Pause, M., 2021. Monitoring of Spatiotemporal Change of Green Spaces in Relation to the Land Surface Temperature: A Case Study of Belgrade, Serbia. *Remote Sensing* 13, 19, 3486.
- Mcfeters, S.K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing* 17, 1425-1432.
- Mustafa, M.T., Hassoon, K.I., Hussain, H.M., ABD., M.H., 2017. Using water indices (NDWI, MNDWI, NDMI, WRI AND AWEI) to detect physical and chemical parameters by apply Remote Sensing and GIS techniques. *International Journal of Research* 5, 117-128.
- Pereira, J.A.V., Souza, Y.G., Correia, I.M.G., Souza, B.I., 2020. Uso e cobertura do solo e

- comparação entre os índices de vegetação SAVI e NDWI na área de Proteção Ambiental das Onças, PB, Brasil. *Revista de Geografia* 37, 2, 278-298.
- Salgueiro, C.O.B., Almeida, D.N.O., Silva Júnior, U.J., Santos, S.M., Oliveira, L.M.M., 2020. NDVI aplicado nas configurações superficiais hídricas e vegetadas do semiárido Pernambucano. *Anais do XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Online, 10 p.
- Silva, B.B., Braga, A.C., Oliveira, L.M.M., Montenegro, S.M.G.L., Barbosa Júnior, B., 2016. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 20, 1, 3 – 8.
- Silva, C.A., Santilli, G., Sano, E.E., Rodrigues, S.W.P., 2019b. Análise Qualitativa do Desmatamento na Floresta Amazônica a partir de Sensores SAR, Óptico e Termal. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ* 42, 18-29.
- Silva, C.O.F., 2020. Classificação supervisionada de área irrigada utilizando índices espectrais de imagens Landsat-8 com Google Earth Engine. *Irriga* 25, 1, 160-169.
- Silva, J.G., Oliveira, L.M.M., Nascimento, E.F., 2019a. Análise temporal da cobertura do solo por índices de vegetação no município de Belo Jardim – PE. *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, RN, 2164 – 2167.
- USGS. Instituto Geológico dos Estados Unidos. Aquisição de Imagens, 2021. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: setembro, 2021.
- Vela, E., Miljković, V., Babić, L., 2020. Spatiotemporal Analysis of LANDSAT Satellite Imagery for Change Detection in Česma Forest Ecosystem. *Technical Gazette* 27, 5, 1648-1653.
- Xu, H., 2006. Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal Remote Sensing* 27, 3025-3033.
- Zhang, H.K., Roy, D.P., Yan, L., Li, Z., Huang, H., Vermote, E., Skakun, S., Roger, J.C., 2018. Characterization of Sentinel-2A and Landsat-8 top of atmosphere, surface, and nadir BRDF adjusted reflectance and NDVI differences. *Remote Sensing of Environment* 215, 482-494.