DELIMITAÇÃO DE CORPO HÍDRICO A PARTIR DE IMAGENS SENTINEL-2 NO SEMIÁRIDO DO NORDESTE

Debora Natália Oliveira de Almeida [1] ; Antonia Vilma Silva Lopes[2]; Callyne Oliveira Borges [3]; Aline Dayane Costa Brito [4]; Maria Eduarda Albuquerque da Silva [5]; Gabriel Vamberto de Souza Nobrega [6]; Matheus Gabriel dos Santos Bezerra[7]; Haylla Rebeka de Albuquerque Lins Leonardo[8]; Leidjane Maria Maciel de Oliveira [9] & Sylvana Melo dos Santos[10];

RESUMO −Este estudo objetivou-se em avaliar e comparar: Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) e o Índice de Água por Diferença Normalizada Modificada (MNDWI), no Açude Poço da Cruz, município de Ibimirim - PE. Foram adquiridas as imagens do sensor MSI Sentinel-2A obtidas pelo site *United States Geological Survey* para modelagem georreferenciada destes índices em 27/12/2017 e 07/12/2019. Com o processamento das imagens utilizando o software de livre acesso QGIS, para o ano 2017 encontraram-se valores de NDWI entre -0,478 a 0,364 e, para o índice MNDWI intervalo entre -0,362 a valores próximos de 0,572, obtendo-se assim a visualização da variação do corpo hídrico.Em 2019, o NDWI teve a variação entre 0,255 a 0,483 e MDNWI atingiu os valores 0,451 e 0,684.

Palavras-Chave: índices espectrais, monitoramento ambiental, gestão de recursos.

ABSTRACT– This study aimed to evaluate and compare the Normalized Difference Water Index (NDWI) and the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) at the Poço da Cruz Reservoir in the municipality of Ibimirim, Pernambuco. MSI Sentinel-2A sensor images were acquired from the United States Geological Survey website for georeferenced modeling of these indices on December 27, 2017, and December 7, 2019. Upon processing these images using the open-source software QGIS, NDWI values ranging from -0.478 to 0.364 were found for 2017, and for the MNDWI index, values ranging from -0.362 to approximately 0.572 were found, allowing for the visualization of water body variation for both indices. In 2019, the NDWI ranged from 0.255 to 0.483, and the MNDWI reached values of 0.451 and 0.684.

Keywords: spectral indices, environmental monitoring, resource management.

[1]) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – DECIV, Centro de Tecnologia e Geociências – CTG, UFPE, Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, 50.740-530 - Recife - PE – Brasil. Fone: +55 81 2126.8000 E-mail: debora.noalmeida@ufpe.br
[2]) Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano – PPGDU, Departamento de Arquitetura e Urbanismo – DAU, Centro de Artes e Comunicação – CAC, UFPE, Av. da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, Recife – PE – Brasil. Fone: +55 85 99998-5213. E-mail: silva.lopes@ufpe.br
[3]) Graduanda, Engenharia Civil, DECIV, CTG, UFPE. Fone: +55 81 98655-5376. E-mail: callyne.borges@ufpe.br
[4]) Graduanda em Engenharia Civil, DECIV, CTG, UFPE, Fone: +55 81 98668-3321.E-mail: aline.costa.brito@ufpe.br
[5]) Graduanda em Engenharia Civil, DECIV, CTG, UFPE, Fone: +55 81 99370-0657.E-mail: albuquerque.silva@ufpe.br
[6]) Graduando, Engenharia Civil, DECIV, CTG, UFPE. Fone: +55 81 99744-6786. E-mail: gabriel.gvsn@ufpe.br
[7]) Graduando, Engenharia Civil, DECIV, CTG, UFPE. Fone: +55 81 99780-5309. E-mail: matheus.gabrielb@ufpe.br
[8]) Professora Adjunto, Centro Acadêmico do Sertão – CAS, UFPE, Av. Agamenon Magalhães, 619, Centro, Sertânia – PE – Brasil. Fone: +55 81 99735-5341. E-mail: haylla.rebeka@ufpe.br.
[9]) Professora Adjunto, PPGEC, DECIV, CTG, UFPE. Fone: +55 81 2126-8223. E-mail: leidjane.oliveira@ufpe.br
[10]) Professora Titular, PPGEC, DECIV, CTG, UFPE. Fone: +55 81 2126-8223. E-mail: sylvana.santos@ufpe.br

1 – INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são indispensáveis à manutenção da vida e ao desenvolvimento das atividades humanas. Nesse contexto, o monitoramento periódico dos sistemas hídricos torna-se essencial para subsidiar o gerenciamento e a garantia do suprimento de água, contribuindo para a gestão sustentável desse recurso (Leonardo *et al.,* 2021).

Diante da necessidade de aprofundar o entendimento dos processos hídricos, nota-se a motivação do desenvolvimento de pesquisas que empregam geotecnologias, contribuindo para o aprimoramento das análises, do monitoramento e da gestão dos sistemas hídricos (Bandim e Galvíncio, 2021). Nesse campo de pesquisa, tem-se a aplicação do Sensoriamento Remoto e dentre uma das abordagens mais importantes é a localização georreferenciada da máscara de água, baseada principalmente no cálculo de índices de água, usando diferentes informações espectrais de imagens ópticas (Schwatke *et al.,* 2019).

Diversas pesquisas apontaram que para extração de máscara de água, foram desenvolvidos vários métodos tendo como base imagens multiespectrais (Du *et al.,* 2016). Os índices espectrais de água têm sido amplamente aplicados devido à precisão na detecção de corpos hídricos a baixo custo computacional (Du *et al.,* 2016; Penha *et al*., 2017), a exemplo do Índice de Água por Diferença Normalizada – NDWI (do inglês, *Normalized Difference Water Index*) por McFeeters (1996) e; o Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado - MNDWI (do inglês, *Modified Normalized Difference Water Index*) por Xu (2006). As características da água terão valores maiores que zero, que é o limiar a ser usado no método, uma vez que a diferença de refletância da água é maior que a diferença de solos e vegetação (Namikawa *et al.,* 2016). De acordo com Xu (2006), o cálculo do MNDWI permite constatar que a água terá maiores valores positivos do que no NDWI, uma vez que absorve mais luz MIR (Infravermelho médio) do que a luz NIR (Infravermelho próximo). Como também denotar que as áreas construídas terão valores negativos, e ressaltou que o solo e a vegetação ainda terão valores negativos, uma vez que o solo reflete a luz MIR mais do que a luz NIR e, a vegetação reflete a luz MIR ainda mais que a luz verde.

A bacia hidrográfica do rio Moxotó é de grande relevância para estudos ambientais, principalmente aos recursos hídricos com utilização de técnicas de SR. Uma das regiões importantes nesta bacia é o açude Engenheiro Francisco Saboya, mais conhecido como Açude Poço da Cruz, que é o maior reservatório do Estado de Pernambuco – Brasil e considerado como a principal fonte hídrica para abastecimento do Perímetro Irrigado do Moxotó (PIMOX), conforme a APAC (2026). Diante disso, o presente artigo teve por objetivo processar índices espectrais NDWI e MNDWI para análise

espacial de reservatório do Semiárido brasileiro, especificamente no Açude Poço da Cruz, através de imagens ópticas do Sensor MSI a bordo do Satélite Sentinel-2.

2 – METODOLOGIA

A área de estudo compreende o Açude Engenheiro Francisco Saboya mais conhecido como Açude Poço da Cruz, pertencente ao município de Ibimirim - PE, que está inserido na bacia hidrográfica do rio Moxotó (Figura 1). Esta bacia compreende uma área de 9.752,71 km², com 90% nos territórios de Pernambuco e acrescentando-se o restante de sua área ao estado de Alagoas. Ela está inserida na Unidade de Planejamento Hídrico UP10 (APAC,2026).

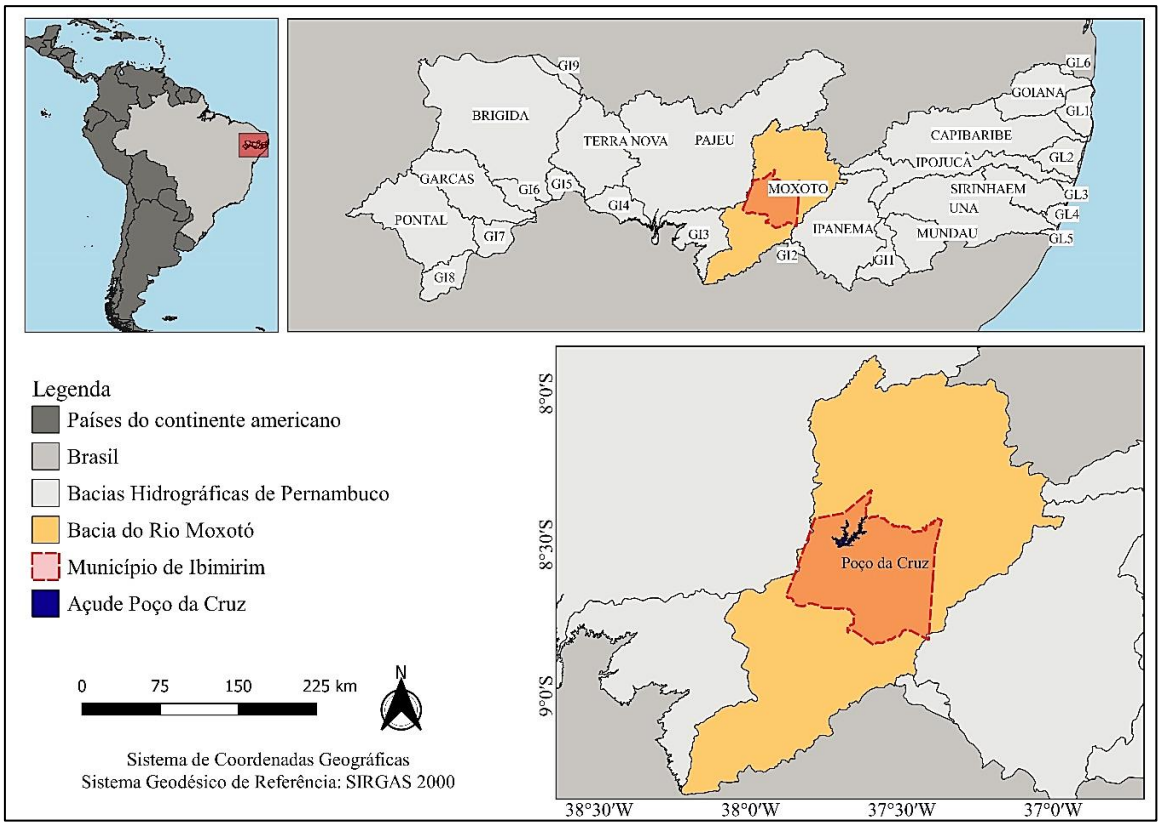


Figura 1– Localização da área de estudo - Açude Poço da Cruz – Ibimirim – PE – Brasil
Fonte: Autores.

Para a escolha das imagens a serem processadas foi necessário a observação de ausência de nuvens que coincidissem o mês entre os dois anos estudados, possibilitando assim, a comparação entre os dados obtidos. Após detalhada pesquisa, selecionaram-se imagens referentes aos dias 27 de dezembro de 2017 e 07 de dezembro de 2019como produto Top-Of-Atmosphere (TOA) Level1C (L1C) com correção radiométrica e geométrica do satélite Sentinel – 2A, uma missão imageadora multispectral do Programa Global Monitoring for Environment and Security (GMES), conjuntamente administrada pela Comunidade Europeia e a Agência Espacial Europeia (ESA).

A metodologia consistiu com a reprojeção ao Sistema Geodésico de Referência (SGR) adotado oficialmente no Brasil, o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), UTM fuso 24 Sul, posteriormente o processamento da reflectância monocromática e modelagem dos índices espectrais (NDWI e MNDWI) e, logo após a análise dos resultados obtidos através dos índices e cálculo da área do reservatório, sendo possível compreender, através da resposta espectral, a variabilidade da máscara de água do reservatório.

O processamento das imagens do Sentinel 2A se deu em conformidade com Zhang *et al.* (2018). Para a reflectância planetária (ρλ) foi usada a Equação 1.

$$\rho\lambda = \frac{ND}{Quantification_Value} \quad (1)$$

em que, ρλ corresponde a reflectância planetária no topo da atmosfera corrigida, ND aos números digitais correspondentes a cada banda, e Quantification_Value é o coeficiente presente no arquivo metadados.

O NDWI (Equação 2), proposto por McFeeters (1996), foi concebido visando maximizar a reflectância da água na banda do verde e minimizar a reflectância na banda infravermelho próximo, onde: ρ3 é a reflectância da banda 3 (ρ_{GREEN}) e ρ8 é a reflectância da banda 8 (ρ_{NIR}) da imagem Sentinel-2 MSI (Du *et al.,* 2016).

$$NDWI = \frac{(\rho_{GREEN} - \rho_{NIR})}{(\rho_{GREEN} + \rho_{NIR})} \quad (2)$$

O Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado (MNDWI) foi expresso pela razão entre a diferença das bandas verde e ρMIR e a soma delas, conforme Equação 3 (Xu, 2006):

$$MNDWI = \frac{(\rho_{GREEN} - \rho_{MIR})}{(\rho_{GREEN} + \rho_{MIR})} \quad (3)$$

em que, ρMIR é a reflectância em uma banda de infravermelho médio. Neste trabalho, valores positivos (>0,0) em ambos os índices foram considerados como corpos hídricos (McFeeters, 1996; Xu, 2006).

Após a obtenção das imagens dos respectivos índices de água, o arquivo raster foi transformado em vetor para cálculo das áreas identificadas como feição água, e assim, interpretar a variação entre os índices NDWI e MNDWI. O procedimento consistiu em obter uma imagem binária através da

ferramenta Calculadora Raster para o índice NDWI e posteriormente uma imagem binária do índice MNDWI eliminando todos os pixels com valores menores que zero, restando apenas o que corresponde a máscara de água, convertendo-se posteriormente em formato vetorial.

A avaliação do desempenho da aplicação dos índices NDWI e MNDWI foi realizada com base nos parâmetros estatísticos: mínimo, máximo, média, desvio padrão, coeficiente de correlação (r), e interpretação visual das imagens. Para o processamento das imagens, obtenção dos índices NDWI e MNDWI, cartas georreferenciadas, extração dos momentos estatísticos dos índices e coleta de pontos amostrais para análise foi utilizado o software de livre acesso QGIS versão 3.16.0.

Como método de descrever o comportamento da distribuição da precipitação pluvial e seus efeitos no armazenamento de água, a Figura 2 detalhou a distribuição mensal da precipitação nos meses de junho a dezembro.

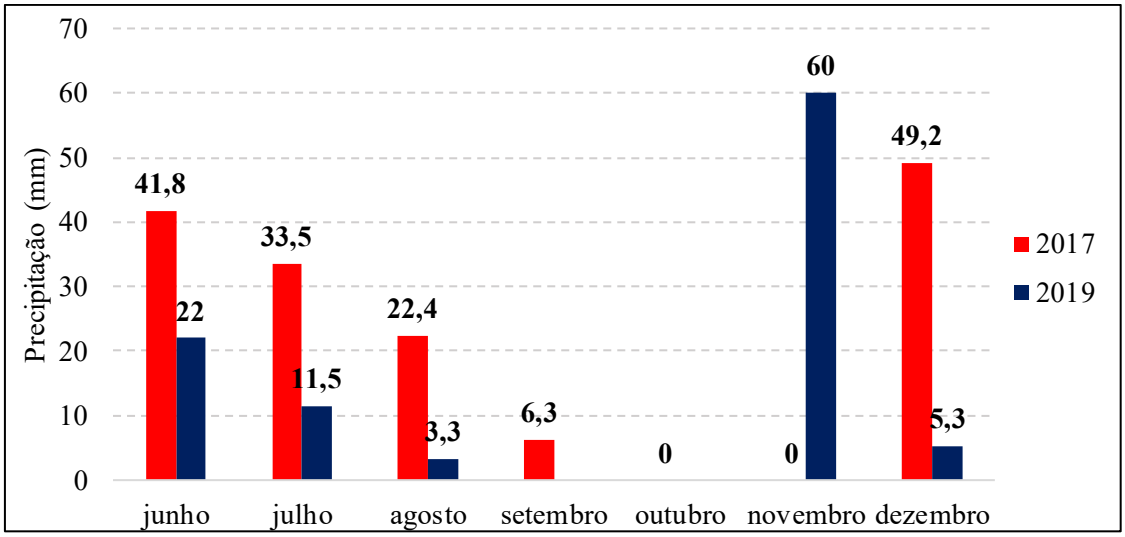


Figura 2– Dados pluviométricos mensais na área de estudo.
Fonte: APAC (2026).

No que concerne as precipitações diárias, foram registradas apenas nos dias 23 e 24/12/2017 totalizando 49,2 mm evidenciados na Figura 2. A análise realizada para o ano 2017, demonstrou que ao longo dos meses (junho a dezembro) houve um decréscimo nos valores pluviométricos, constatando baixo índice de precipitação em Ibimirim – PE – Brasil. De acordo com os dados explícitos de 2019, foi verificado uma diminuição ao longo dos meses, exceto no mês de novembro que conforme os dados pluviométricos diários foi registrado o total de 60 mm apenas no dia 26/11/2019. Vale salientar que tais informações refere-se a dias antes da passagem do imageamento na área de estudo.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela visualização geoespacializada dos índices NDWI e MNDWI foi possível evidenciar as feições hídricas do Açude Poço da Cruz, pois apresentaram maior realce em relação a outras feições, sendo geralmente os únicos alvos representados pelos maiores valores positivos dos pixels (Figura 3).

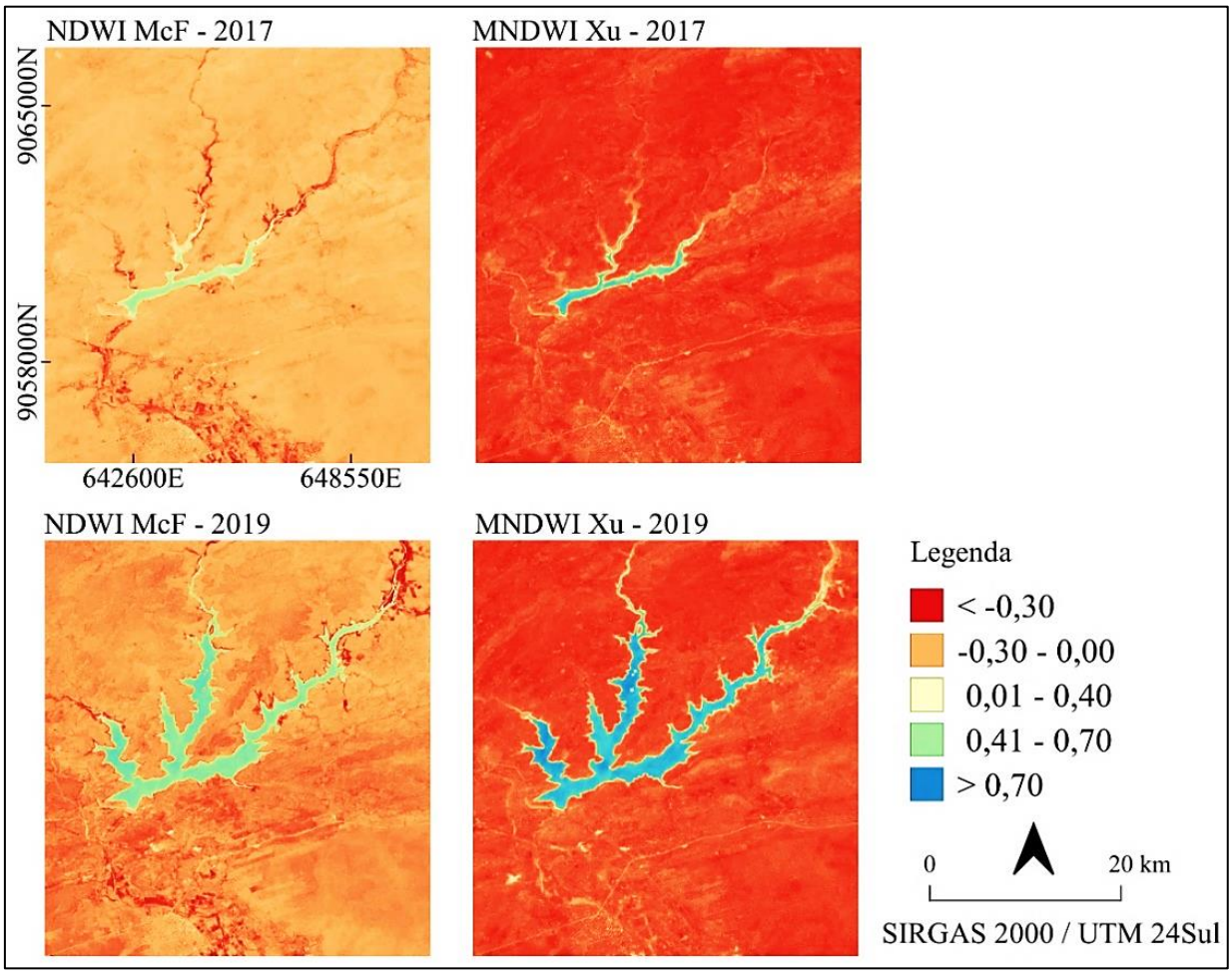


Figura 3 – NDWI e MNDWI no Açude Poço da Cruz Ibimirim-PE.
Fonte: Autores.

Ao analisar o comportamento entre os índices espectrais de água, foi constatado que a maioria dos valores de NDWI detectados no açude Poço da Cruz foi maior que 0,40. Enquanto para o MNDWI, o corpo hídrico foi representado por pixels com valores maiores que 0,70. Pesquisas realizadas por Du *et al.* (2016), demonstraram comportamento semelhante quando encontraram os valores de NDWI e MNDWI no trecho do litoral de Veneza - Itália.

De acordo com os autores, a pesquisa constatou que a maioria dos valores de NDWI dos corpos d'água foi maior que 0,50, enquanto o MNDWI, a maioria dos valores foi superior a 0,80. Diversas pesquisas demonstraram que o MNDWI é mais adequado para aprimorar as informações da água e

pode extrair corpos de água com maior precisão do que o NDWI (Xu, 2006; Li *et al.*, 2013; Du *et al.,* 2014; Singh *et al.,* 2015).

No que concerne na análise espaço-temporal entre os índices (Tabela 2), foram descritos resultados dos parâmetros estatísticos do NDWI e MNDWI.

Tabela 2- Valores estatísticos do NDWI e MNDWI das imagens pesquisadas.

Imagem	Índice	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão	Coeficiente Correlação (r)
27/12/2017	NDWI	-0,478	0,155	0,364	0,182	0,81
	MNDWI	-0,362	0,153	0,572	0,274	
07/12/2019	NDWI	0,255	0,408	0,483	0,027	0,87
	MNDWI	0,451	0,580	0,684	0,036	

Fonte: Autores.

Observaram-se que os valores de NDWI variaram de -0,478 a 0,364 e; -0,362 a 0,572 para o MNDWI no mês de dezembro/2017. Já para dezembro/2019, os valores variaram 0,255 a 0,483 para o NDWI e; MNDWI atingiram intervalos de 0,451 a 0,684. Também, foi gerada uma matriz de correlação entre índices de água, permitindo a análise comparativa entre os métodos NDWI e MNDWI através do coeficiente de correlação de Pearson. Ao observar o comportamento do coeficiente de correlação (r) entre os índices NDWI e MNDWI (Tabela 2), ficou explícito que ambos obtiveram valores de "r" superiores a 0,80, onde foi possível afirmar que os dados comparados possuem uma forte correlação.

Adicionalmente, para fins de avaliação mais detalhada dos índices espectrais na extração da máscara de água, foram coletados 20 (vinte) alvos amostrais distintos e aleatórios, inseridos no açude Poço da Cruz e seu entorno, como demonstra a (Figura 4).

Vale ressaltar que as imagens de 2017 e 2019 estão com escalas iguais e alvos amostrais georreferenciados. Na imagem que corresponde a data 27/12/2017 foram detectados pixels com valores positivos e negativos dos índices, ou seja, dentre os 20 pixels, 11 representaram valores de NDWI e MNDWI negativos (< 0), evidenciando que neste ano áreas alagadas estavam atingindo valores que representam vegetação e solo exposto, assim constatando menor área superficial do açude (Figura 4A).

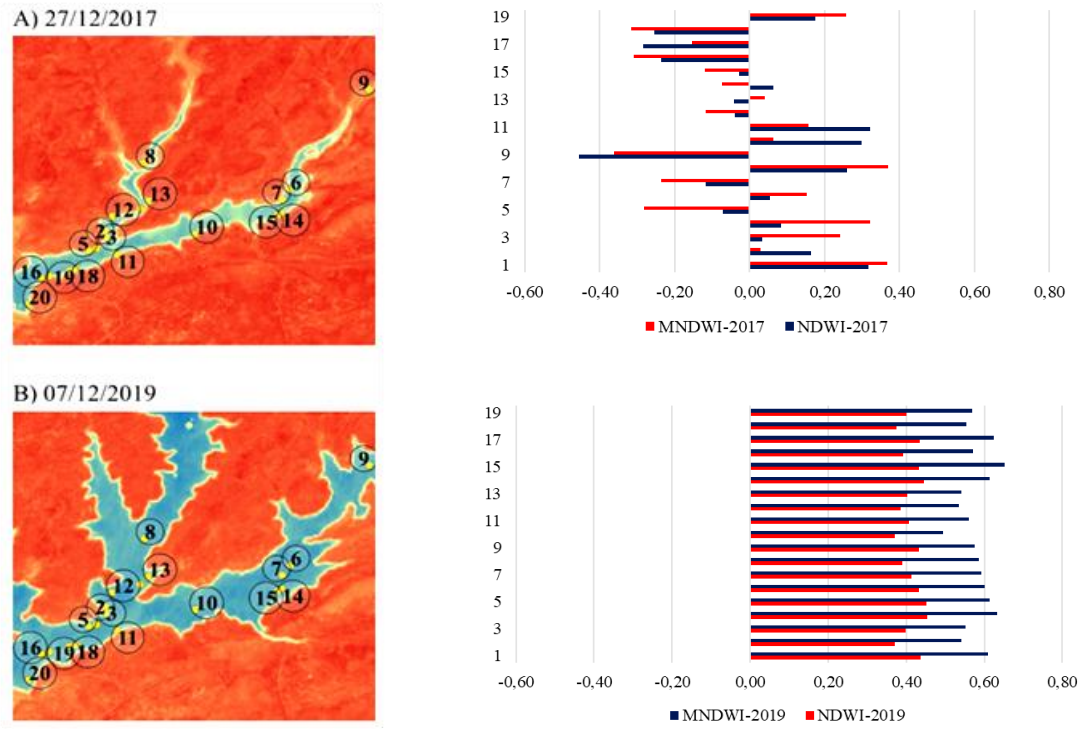


Figura 4 – Aquisição de coleta de pontos de amostragem no reservatório e seu entorno.
Fonte: Autores.

No que concerne a data 07/12/2019, todos os pixels enumerados de 1 a 20 detectaram (NDVI > 0) e (MNDWI > 0), ou seja, maior área com presença de água no Açude Poço da Cruz que o ano anteriormente citado (Figura 4B). Um dos fatores que contribuíram para este aumento foi o quantitativo precipitado na região. Conforme os dados pluviométricos, foi registrado o total de 60 mm apenas no dia 26/11/2019, data esta que antecede o dia do imageamento realizado em dezembro.

Com a extração dos pixels representativos com NDWI > 0 e MNDWI > 0 foi possível, em termos de valor quantitativo, estimar a área superficial do Açude Poço da Cruz em distintos anos para ambos os índices espectrais de água (Figura 5). De acordo com os dados apresentados, a área estimada a partir do NDWI (5A) em 2017 atingiu 130,06 hectares, enquanto o MNDWI (5B) detectou como água apenas 121,11 hectares, isto é, o MNDWI melhor separou o alvo água de outros alvos presentes no entorno. Em 2019, a área detectada pelo NDWI (5A) do Poço da Cruz foi 708,89 hectares, já o MNDWI (5B) identificou apenas 691,19 hectares.

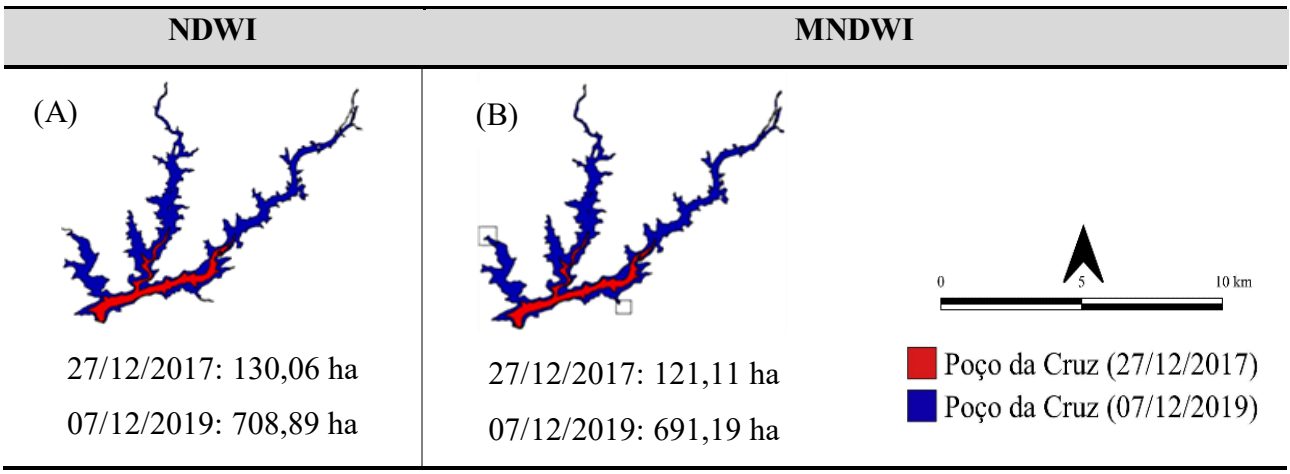


Figura 5 – Máscara de água do reservatório Poço da Cruz - PE derivados dos índices NDWI e MNDWI. Fonte: Autores.

Foi observado que o valor representado para a diferença entre as áreas atingiu 8,45 hectares para o ano 2017, representando 6,9% de diferença de área um método para outro. Enquanto em 2019 apresentou maior área superficial atingindo 17,70 hectares (2,5%).

4 - CONCLUSÕES

Os índices espectrais NDWI e MNDWI mostraram-se com efetiva ferramenta para extração da máscara de água do Açude Poço da Cruz em Ibimirim – PE – Brasil, evidenciando a distribuição espacial dinâmica hídrica entre 2017 e 2019, podendo auxiliar em tomadas de decisões voltadas ao monitoramento ambiental. A análise do mapeamento dos índices estudados com a exclusão dos valores abaixo de zero e, observando o contexto geral da área, tornou-se um resultado de rápida interpretação da máscara de água e ficou evidenciado que o índice MNDWI melhor representou o delineamento do corpo hídrico em relação ao índice NDWI.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à CAPES pela concessão da bolsa de Doutorado da 1ª. autora (Processo nº 88887.827976/2023-00), à FACEPE pelas bolsas do Fundo Inovador concedidas à 2ª. autora (BFI-0203-3.14/26) e à 4ª. autora (BFI-2115-3.07/25) referentes ao projeto “MoTIVE: Tecnologia verde para cidades resilientes” (APQ-0839-3.07/25), pelas bolsas de Cooperação Técnica da 3ª. autora (BCT 0553-3.01/25) e da 5ª. autora (BCT 0517- 3.01/25) associadas ao projeto “Exposições Imersivas para a Construção e Inovação Sustentáveis” (APQ-1289-3.01/25. Ao CNPq pelas bolsas de Iniciação Científica (IC) do 6º. autor (Proc. 144683/2025-3) e do 7º. autor (Proc. 145387/2025-9). A 10ª. autora agradece o financiamento no âmbito da Chamada CNPq/MCTI No. 10/2023 referente ao projeto "Uso de Tecnologias Verdes Sócio Inclusivas como Medidas de Controle de Drenagem Urbana" (Processo: 408269/2023-5) e pela bolsa PQ C (CNPQ

Processo: 301329/2025-7). 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.

REFERÊNCIAS

Agência Pernambucana de Águas e Climas - APAC. Sistema de Informação Geográfica. Disponível em: <http://www. apac.pe.gov.br/sighpe/>. Acesso: Maio de 2026.

BANDIM, C.G; GALVINCIO, J. (2021*)."Mapeamento das áreas de armazenamento de água em depressão, usando dados LIDAR: Estudo de caso avenida Caxangá"*.Revista Brasileira de Geografia Física. pp. 058-067. DOI:10.26848/rbgf.v14.1.

DU, Z.Q.; LI, W.B.; ZHOU, D.B.; TIAN, L.Q.; LING, F.; WANG, H.L.; GUI, Y.M.; SUN, B.Y. (2014*). "Analysis of Landsat-8 OLI imagery for land surface water mapping*". Remote Sensing. Lett. 5, pp. 672–681.

DU, Y., ZHANG, Y., LING, F., WANG, Q., LI, W., LI, X. (2016). *"Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band".* Remote Sensing 8(4). https://doi.org/10.3390/rs8040354.

LEONARDO, H. R.A.L.; SALGUEIRO, C.O.B.; ALMEIDA, D.N.O; SANTOS, S. M.; OLIVEIRA, L. M. M. (2021). "*Sensoriamento Remoto Aplicado na Geoespacialização do Reservatório Poço da Cruz - PE e seu Entorno"*. Revista Brasileira de Geografia Física 14(6), pp. 3592–3607. https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.6.p3614-3629.

LI, W.B.; DU, Z.Q.; LING, F.; ZHOU, D.B.; WANG, H.L.; GUI, Y.M.; SUN, B.Y.; ZHANG, X.M. (2013). *"A comparison of land surface water mapping using the normalized difference water index from TM, ETM plus and ALI".* Remote Sensing 5, pp. 5530–5549.

MCFEETERS, 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(7), pp. 1425–1432. https://doi.org/10.1080/01431169608948714.

NAMIKAWA, L. M., KÖRTING, T. S., CASTEJON, E. F. (2016). "*Water body extraction from Rapideye images: an automated methodology based on hue component of color transformation from RGB to HSV model*". Revista Brasileira de Cartografia 68(6), pp. 1097–1111.

PENHA, T.V.; PLETSCH, M. A.S.; SILVA JUNIOR, C.H.L.; KÖRTING, T.S.; FONSECA, L.M.G.; (2017). *"Detecção e delimitação automática de corpos hídricos em imagens Sentinel-2: uma proposta de integração do algoritmo Fmask aos índices espectrais NDWI e MNDWI. XVIII."* GEOINFO, pp.340-345, Salvador, BA.

SCHWATKE, C.; SCHERER, D.; DETTMERING, D. (2019). *"Automated Extraction of Consistent Time-Variable Water Surfaces of Lakes and Reservoirs Based on Landsat and Sentinel-2".* Remote Sensing *11* (9), pp.1010; DOI: doi.org/10.3390/rs11091010.

SINGH, K.V.; SETIA, R.; SAHOO, S.; PRASAD, A.; PATERIYA, B. (2015). "*Evaluation of NDWI and MNDWI for assessment of waterlogging by integrating digital elevation model and groundwater level*." Geocarto 30, pp. 650–661.

XU, H.Q. (2006). *"Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery".* International Journal Remote Sensing 27, pp. 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 diferences."*.Remote Sensing of Environment 215, pp. 482-494.