

USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA MONITORAMENTO DE RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS: ESTUDO DE CASO EM MATO GROSSO

*Gabriela Mesquita Barbary¹; Rúbia de Souza Bitencourt²; Guilherme Spuldaro Passos³; João
Pedro Oliveira Coringa⁴; Rafael Pedrollo de Paes⁵ & Cristiano Gabriel Persch⁶*

RESUMO – A gestão de recursos hídricos no Brasil enfrenta desafios relacionados à identificação e ao monitoramento de reservatórios artificiais, especialmente no contexto da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Este estudo teve como objetivo detectar reservatórios artificiais por meio de sensoriamento remoto em duas áreas no estado de Mato Grosso. Foram utilizadas imagens dos satélites Sentinel-2 e CBERS-4A, com aplicação dos índices espectrais NDWI e MNDWI para extração de corpos hídricos com área igual ou superior a 1 hectare. Os resultados indicaram que o índice MNDWI apresentou melhor desempenho em áreas complexas e heterogêneas, como regiões de mineração, enquanto o NDWI do Sentinel-2 foi mais eficiente na detecção de grandes reservatórios, especialmente em áreas com vegetação esparsa. Já o NDWI do CBERS-4A fusionado apresentou maior precisão na delimitação das bordas dos reservatórios. O uso do sensoriamento remoto mostrou-se eficiente para o monitoramento hídrico, permitindo a cobertura de grandes áreas e a atualização frequente dos dados. Apesar de limitações como a presença de nuvens e a necessidade de processamento computacional, a integração com sistemas como SIGEF e CAR pode contribuir para uma gestão mais eficiente e transparente de barragens.

Palavras-Chave: sensoriamento remoto; monitoramento hídrico; reservatórios artificiais.

ABSTRACT – Water resources management in Brazil faces challenges related to the identification and monitoring of artificial reservoirs, especially within the context of the National Dam Safety Policy (PNSB). This study aimed to detect artificial reservoirs using remote sensing techniques in two areas in the state of Mato Grosso. Satellite images from Sentinel-2 and CBERS-4A were used, applying the NDWI and MNDWI spectral indices to extract water bodies with areas equal to or greater than 1 hectare. The results indicated that the MNDWI index performed better in complex and heterogeneous areas, such as mining regions, while the NDWI from Sentinel-2 was more efficient in detecting large reservoirs, particularly in areas with sparse vegetation. The fused NDWI from CBERS-4A showed greater accuracy in defining reservoir boundaries. Remote sensing proved to be an efficient tool for water monitoring, allowing large-area coverage with frequent data updates.

1) Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367, Boa Esperança, Cuiabá, MT, Brasil. CEP: 78060-900. Telefone: 65 3615-8000. E-mail: gabrielabarbary@gmail.com

2) Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367, Boa Esperança, Cuiabá, MT, Brasil. CEP: 78060-900. Telefone: 65 3615-8000. E-mail: cristiano.persch@ufmt.br

3) Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental. Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367, Boa Esperança, Cuiabá, MT, Brasil. CEP: 78060-900. Telefone: 65 3615-8000. E-mail: rubiasbitencourt@gmail.com

4) Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental. Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367, Boa Esperança, Cuiabá, MT, Brasil. CEP: 78060-900. Telefone: 65 3615-8000. E-mail: jpcor2004@gmail.com

5) Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental. Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367, Boa Esperança, Cuiabá, MT, Brasil. CEP: 78060-900. Telefone: 65 3615-8000. E-mail: rafael.paes@ufmt.br

6) Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental. Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367, Boa Esperança, Cuiabá, MT, Brasil. CEP: 78060-900. Telefone: 65 3615-8000. E-mail: guilhermespuldaro76@gmail.com

Despite limitations such as cloud presence and computational demands, integration with systems such as SIGEF and CAR can support more efficient and transparent dam management.

Key-words: *remote sensing; water monitoring; artificial reservoirs.*

1. INTRODUÇÃO

A gestão de recursos hídricos vem ganhando maior relevância no Brasil diante das exigências legais estabelecidas pela Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e pela Resolução Nº 144/2012 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que determinam aos órgãos fiscalizadores efetuarem o cadastro das barragens sob sua jurisdição, incluindo a identificação de reservatórios artificiais e convocação dos empreendedores responsáveis por sua regularização, para que sejam atualizadas anualmente pela Agência Nacional de Águas (ANA) e integradas ao Sistema Nacional de Informação de Segurança de Barragens (SNISB).

Mesmo sendo fundamental para garantir a segurança hídrica e a proteção das populações potencialmente afetadas, a identificação de reservatórios artificiais enfrenta desafios significativos, especialmente em áreas remotas e de difícil acesso onde o longo tempo necessário para constatações em campo e os altos custos associados ao deslocamento de equipes inviabilizam o processo. Nesse contexto, surge a necessidade de explorar novas abordagens para otimizar esse processo, como a utilização de imagens de satélite para realizar um levantamento prévio dos espelhos d'água das barragens de forma remota a partir da aplicação de índices espectrais de água.

As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento tornaram-se ferramentas úteis e indispensáveis para o monitoramento da dinâmica de uso e ocupação do solo, uma vez que proporcionam maior agilidade no processamento e atualização de dados com menor custo (Vaeza *et al.*, 2010).

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto tem apresentado um grande potencial na superação da limitação espaço-temporal dos métodos tradicionais de monitoramento da água *in situ*, pois permite a aquisição de informações em diferentes escalas espaciais e temporais, favorecendo a análise estrutural dos ecossistemas aquáticos (Valério, 2009). Por isso, o sensoriamento remoto apresenta-se como uma técnica eficiente para delimitação de corpos hídricos superficiais, como demonstrado em diversos trabalhos (Kaplan & Avdan, 2017; Zou *et al.*, 2017; Cunha *et al.*, 2020).

A pesquisa proposta busca mostrar a possibilidade de detectar reservatórios artificiais de forma remota, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Especificamente, serão aplicados cálculos de índices espectrais de água, como o NDWI (Índice de Água Normalizado) e o MNDWI (Índice de Água Normalizado Modificado), utilizando produtos dos satélites Sentinel-2 e CBERS 4A. Essa abordagem pode não apenas facilitar a identificação dos reservatórios, mas também contribuir para a

criação de uma base de dados mais robusta e atualizada. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo identificar reservatórios artificiais por meio de técnicas de sensoriamento remoto, utilizando imagens dos satélites Sentinel-2 e CBERS 4A em áreas do estado de Mato Grosso.

2. METODOLOGIA

A Figura 1 apresenta um fluxograma que resume os procedimentos adotados no processo de detecção de reservatórios artificiais a partir de imagens dos satélites Sentinel-2 e CBERS-4A, que apresentam diferentes características quanto à resolução espacial e aos sensores embarcados, adquiridas por meio da plataforma Copernicus. Inicialmente, foram selecionadas duas áreas de estudo no estado de Mato Grosso, denominadas Área 1 e Área 2, com dimensões de 20 km × 20 km.

Para o cálculo do índice MNDWI com dados do Sentinel-2, foi necessário compatibilizar as resoluções espaciais da banda 11 (SWIR), com resolução de 20 m, e da banda 03 (Green), com resolução de 10 m, utilizando o plugin Sen2Res do software SNAP para reamostrar os pixels da banda SWIR para 10 m por pixel. Para o cálculo do índice NDWI para os satélites Sentinel-2 e CBERS 4A, os processos foram realizados utilizando o software QGIS e, para a fusão das bandas do CBERS 4A, a fim de melhorar a resolução espacial das imagens.

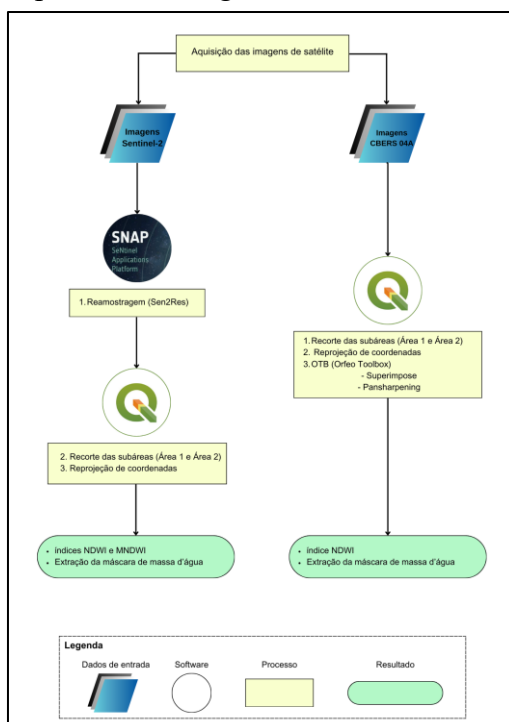


Figura 1 – Fluxograma de procedimento metodológico adotado neste estudo. Fonte: Autoria Própria, 2024.

2.1 Área de Estudo

Para a realização deste estudo, foram definidas duas áreas de interesse no estado de Mato Grosso, cada uma com dimensão de 20 km × 20 km, denominadas Área 1 e Área 2. As áreas selecionadas apresentam diferentes níveis de intervenção antrópica, sendo uma caracterizada por

maior preservação ambiental, com predominância de cobertura vegetal natural, e a outra por intensa atividade humana e alterações no uso e ocupação do solo. Essa diferenciação foi adotada com o objetivo de avaliar a influência das características ambientais na detecção de corpos hídricos por meio dos índices espectrais NDWI e MNDWI.

A Figura 2 apresenta uma imagem da Área 1, situada no município de Nossa Senhora do Livramento, no estado de Mato Grosso, nas coordenadas 575721 E e 8235216 N. A região apresenta diversidade de uso e ocupação do solo, incluindo áreas com vegetação nativa heterogênea, zonas antropizadas e a presença de reservatórios artificiais com diferentes formas e dimensões. Destacam-se atividades antrópicas como mineração e piscicultura, que influenciam diretamente a dinâmica da paisagem e a distribuição dos corpos hídricos.

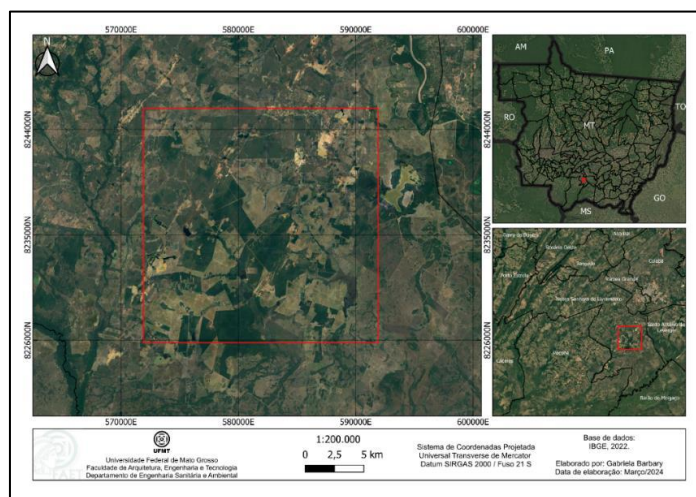
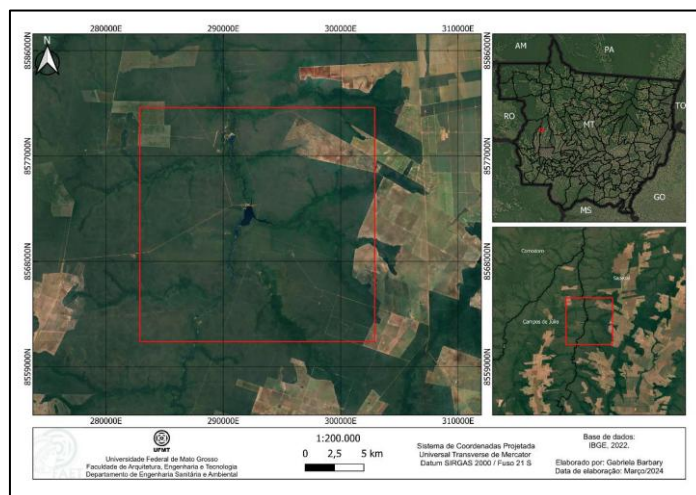


Figura 2 – Área de estudo 1. Fonte: Autoria Própria, 2024.

A Figura 3 apresenta uma imagem da Área 2, situada na região limítrofe entre os municípios de Campos de Júlio e Sapezal, no estado de Mato Grosso, nas coordenadas 292132 E e 857183 N. A área apresenta características distintas de uso e ocupação do solo, com predomínio de vegetação mais homogênea, presença de áreas antropizadas com solo exposto e um reservatório com espelho d'água



bem definido. Essas condições favorecem a análise da resposta dos índices espectrais na detecção de corpos hídricos em ambientes com menor heterogeneidade da paisagem.

Figura 3 – Área de Estudo 2. Fonte: Autoria Própria, 2024.

2.2 Dados dos Satélites

Foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2, sensor MultiSpectral Instrument (MSI), obtidas por meio da plataforma *Copernicus*. A seleção das cenas considerou imagens com datas mais recentes disponíveis, baixa cobertura de nuvens e correspondência temporal entre as áreas de estudo, adotando-se como critério imagens com ausência de nuvens sempre que possível. As cenas selecionadas possuem nível de processamento 2A, que inclui correção atmosférica, permitindo sua utilização direta nas análises. Destaca-se que, devido às diferentes órbitas do satélite, as áreas de estudo apresentam variação na resolução temporal, resultando em datas distintas de aquisição das imagens.

Da mesma forma, foram utilizadas imagens do satélite CBERS-4A, sensor WPM (*Wide Field Imager*) e câmera *pancromática*, obtidas por meio do catálogo de imagens do INPE. A seleção das cenas considerou a cobertura total das áreas de estudo, priorizando imagens com datas mais recentes e mínima presença de nuvens, adotando-se como critério imagens com ausência de cobertura de nuvens sempre que possível. Essas imagens foram utilizadas como base para a aplicação dos índices espectrais e a análise dos reservatórios artificiais.

Para o cálculo do índice MNDWI com dados do Sentinel-2, foi necessário compatibilizar as resoluções espaciais das bandas utilizadas (Reamostragem Sentinel-2). A banda do infravermelho de ondas curtas (SWIR), originalmente com resolução de 20 m, foi reamostrada para 10 m, de modo a se adequar à resolução da banda do verde. Esse procedimento foi realizado no software SNAP, por meio do plugin Sen2Res, garantindo a padronização espacial dos dados e a manutenção da qualidade radiométrica das imagens.

O recorte das imagens para as áreas de estudo foi realizado no software QGIS, utilizando como base polígonos com dimensão de 20 km × 20 km previamente definidos para as Áreas 1 e 2. Esse procedimento foi aplicado às imagens dos satélites Sentinel-2 e CBERS-4A, permitindo a delimitação das regiões de interesse e a padronização espacial dos dados para as análises subsequentes.

As imagens dos satélites Sentinel-2 e CBERS-4A foram reprojetaadas para o sistema de referência SIRGAS 2000, UTM fuso 21S, com o objetivo de padronizar o sistema de coordenadas e garantir a compatibilidade espacial entre os dados utilizados. O procedimento foi realizado no software QGIS e aplicado a todas as bandas empregadas no estudo.

Para o aprimoramento da resolução espacial das imagens do satélite CBERS-4A, foi aplicada a técnica de fusão de bandas (*pansharpening*), utilizando a *Orfeo Toolbox* (OTB) integrada ao software QGIS. O procedimento consistiu na fusão da banda pancromática, com resolução espacial de 2 m, com as bandas multiespectrais, originalmente com resolução de 8 m, resultando em imagens com maior nível de detalhamento espacial. Previamente à fusão, foi realizado o alinhamento geométrico entre as bandas por meio da ferramenta de superimposição, garantindo a compatibilidade entre os dados. Esse processamento foi aplicado às duas áreas de estudo, contribuindo para a melhoria na delimitação dos reservatórios artificiais.

Após o pré-processamento das imagens, foram calculados os índices espectrais NDWI (*Normalized Difference Water Index*) e MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*), com o objetivo de identificar superfícies hídricas nas áreas de estudo. Para o satélite Sentinel-2, foram utilizados ambos os índices, empregando-se as bandas do verde (B3), infravermelho próximo (B8) e infravermelho de ondas curtas (B11), previamente ajustadas quanto à resolução espacial. Para o satélite CBERS-4A, foi calculado apenas o índice NDWI, utilizando as bandas do verde (B2) e infravermelho próximo (B4), devido à ausência da banda SWIR nesse sensor.

Os índices foram obtidos por meio de operações de álgebra de mapas em ambiente SIG, permitindo o realce das superfícies de água nas imagens. O índice MNDWI foi calculado a partir da razão entre as bandas do verde e do infravermelho de ondas curtas, enquanto o NDWI utilizou as bandas do verde e do infravermelho próximo. Esse procedimento foi aplicado às duas áreas de estudo para ambos os sensores, possibilitando a comparação do desempenho dos índices na detecção de reservatórios artificiais em diferentes condições de paisagem.

A partir dos índices espectrais calculados, foi realizada a extração de máscaras para identificação das superfícies hídricas. Considerando que os valores dos índices NDWI e MNDWI variam entre -1 e 1, e que corpos d'água apresentam, em geral, valores positivos, adotou-se como critério a classificação de pixels com valores iguais ou superiores a zero como água. Com base nesse limiar, foi gerado um *raster* binário para cada índice, no qual os pixels classificados como água receberam valor 1, enquanto os demais receberam valor 0. Esse procedimento foi aplicado aos resultados obtidos para o NDWI e MNDWI do Sentinel-2 e para o NDWI do CBERS-4A, permitindo a identificação das áreas correspondentes aos reservatórios artificiais nas regiões de estudo.

Após a geração dos *rasters* binários, estes foram convertidos para formato vetorial do tipo polígono, com o objetivo de permitir a análise espacial das feições identificadas. A partir dessa conversão, foram selecionadas apenas as geometrias correspondentes aos pixels classificados como água (valor igual a 1), possibilitando o cálculo das áreas e a delimitação dos reservatórios artificiais.

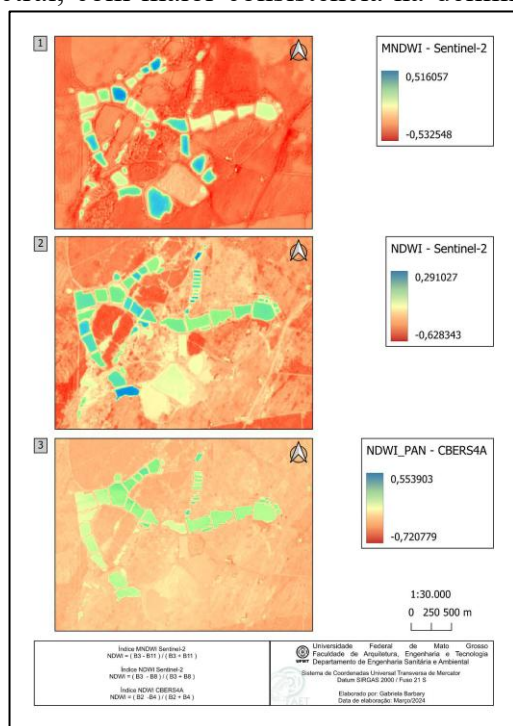
O procedimento foi aplicado aos resultados dos índices NDWI e MNDWI do Sentinel-2 e ao NDWI do CBERS-4A. Adicionalmente, foi realizada uma verificação visual das feições obtidas, com apoio de imagens de alta resolução, a fim de confirmar a correspondência entre os polígonos gerados e os reservatórios artificiais identificados nas áreas de estudo.

3. RESULTADOS

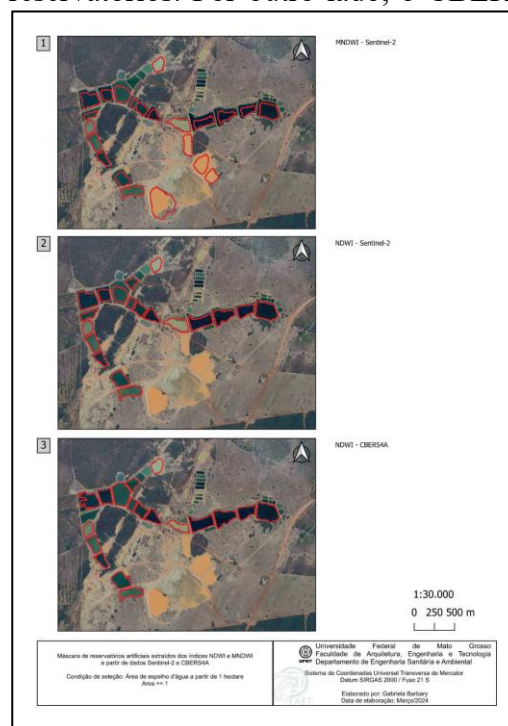
As análises foram realizadas em duas áreas de estudo com características distintas de uso e ocupação do solo, permitindo avaliar o desempenho dos índices espectrais em diferentes contextos ambientais.

Na Área de Estudo 1, caracterizada por elevada heterogeneidade da paisagem e presença de atividades mineradoras, os índices NDWI e MNDWI demonstraram capacidade de identificar corpos hídricos, especialmente em reservatórios artificiais de menor porte. O índice MNDWI apresentou maior eficiência na detecção de reservatórios associados à mineração, enquanto o NDWI, baseado no infravermelho próximo (NIR), apresentou limitações, com valores próximos ou inferiores a zero em algumas dessas áreas, mostrando-se mais suscetível à interferência desses elementos e comprometendo sua eficácia em áreas complexas. Esse comportamento está relacionado à maior sensibilidade da banda do infravermelho de ondas curtas (SWIR), utilizada no MNDWI, na discriminação de água em ambientes com solo exposto e materiais altamente reflexivos.

Em relação aos sensores, o NDWI aplicado ao Sentinel-2 apresentou melhor desempenho espectral, com maior consistência na delimitação dos reservatórios. Por outro lado, o CBERS-4A,



(a)

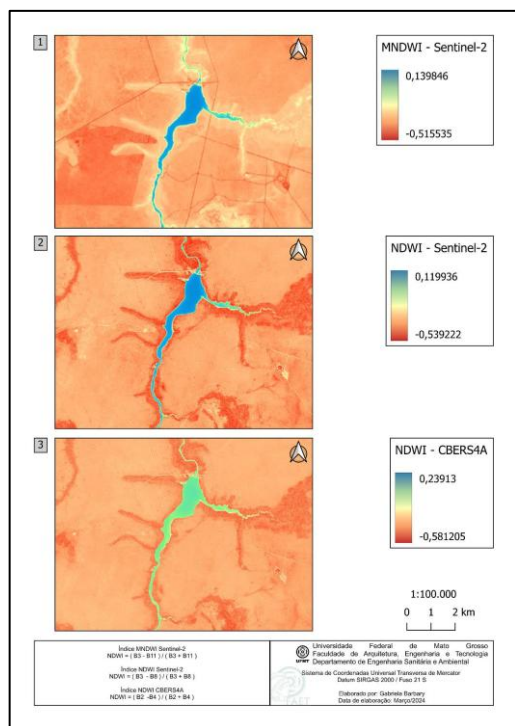


(b)

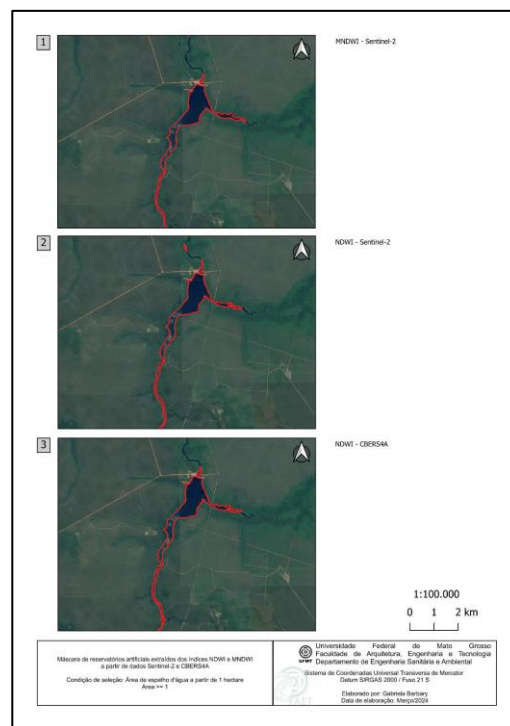
após a fusão de bandas, proporcionou maior detalhamento espacial, favorecendo a identificação de bordas e de reservatórios de menor dimensão. Ainda assim, suas limitações espectrais impactaram negativamente a detecção em ambientes com maior complexidade.

Figura 4 – **(a)** Índices espectrais NDWI e MNDWI para a Área de Estudo 1. **(b)** Máscara de reservatórios artificiais com área igual ou maior que 1 hectare. Fonte: Autoria Própria, 2024.

Na Área de Estudo 2, caracterizada por maior homogeneidade da paisagem e presença de reservatórios bem definidos, ambos os índices apresentaram bom desempenho na identificação de corpos hídricos de maior porte, com valores positivos consistentes. Entretanto, diferenças foram observadas em áreas com cobertura vegetal. O NDWI demonstrou maior eficiência na detecção de água sob vegetação, enquanto o MNDWI apresentou limitações, com valores próximos de zero ou negativos nessas condições. Esse resultado pode ser explicado pela resposta espectral das bandas utilizadas, uma vez que o NDWI, baseado no NIR, apresenta maior sensibilidade à presença de água associada à vegetação, enquanto o MNDWI tende a subestimar esses alvos devido à influência da cobertura vegetal na banda SWIR. Assim como observado na Área 1, o CBERS-4A apresentou vantagem em termos de resolução espacial, permitindo maior detalhamento na delimitação dos reservatórios, especialmente em regiões de borda. No entanto, o Sentinel-2 manteve melhor desempenho espectral geral, garantindo maior confiabilidade na identificação das superfícies hídricas.



(a)



(b)

Figura 5 – (a) Índices espectrais NDWI e MNDWI para a Área de Estudo 2. (b) Máscara de reservatórios artificiais com área igual ou maior que 1 hectare. Fonte: Autoria Própria, 2024.

De forma geral, os resultados indicam que o desempenho dos índices espectrais está diretamente relacionado às características da paisagem analisada. O MNDWI mostrou-se mais robusto em ambientes complexos e antropizados, como áreas de mineração, enquanto o NDWI apresentou melhor desempenho em áreas com cobertura vegetal e em análises mais abrangentes. O uso combinado de diferentes sensores e índices demonstrou ser uma estratégia eficiente para a detecção e delimitação de reservatórios artificiais, permitindo aproveitar as vantagens complementares de resolução espacial e sensibilidade espectral.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados evidenciam que o desempenho dos índices espectrais na detecção de reservatórios artificiais depende das características da paisagem. Em áreas complexas e antropizadas, o MNDWI apresentou maior eficiência, devido à utilização da banda SWIR, que reduz a interferência de superfícies não aquáticas. Por outro lado, o NDWI do Sentinel-2 demonstrou melhor desempenho em áreas mais homogêneas e com vegetação esparsa, apresentando maior consistência espectral na identificação de corpos hídricos. Em ambientes homogêneos, ambos os índices foram eficazes na detecção de reservatórios bem definidos, sendo que a maior resolução espacial do CBERS-4A contribuiu para melhor detalhamento das bordas. De modo geral, os resultados indicam que a combinação de diferentes índices e sensores constitui uma abordagem eficiente para o monitoramento de reservatórios artificiais. O sensoriamento remoto mostrou-se uma ferramenta promissora para a gestão de recursos hídricos, permitindo a análise de grandes áreas em curto período. No entanto, limitações como a cobertura de nuvens e a demanda computacional ainda representam desafios. Como perspectiva futura, destaca-se a aplicação da metodologia em escalas maiores e a integração com bases de dados geoespaciais, visando aprimorar a gestão e fiscalização de reservatórios.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), à Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia e ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental pelo apoio para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). *Relatório de segurança de barragens 2023* / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. – Brasília: ANA, 2024. Acesso em: 30/09/2024

BRASIL. *Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução CNRH nº 144, de 10 de julho de 2012. Estabelece diretrizes para a implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens.* Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 jul. 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm. Acesso em: 04/10/2024.

BRASIL. *Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Dispõe sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens e dá outras providências.* Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 set. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm. Acesso em: 04/10/2024.

BRASIL. *Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que dispõe sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens.* Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1 out. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14066.htm#art3. Acesso em: 04/10/2024.

CUNHA, Caroline Favoreto et al. *Modelo área-volume para a Represa Guarapiranga empregando o índice NDWI.* Holos Environment, v. 20, n. 1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14295/holos.v20i1.12370>. Acesso em: 02/10/2024

EUROPEAN SPACE AGENCY. *Sentinel-2 Mission Guide.* Disponível em: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2>. Acesso em: 01/10/2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/nossa-senhora-do-livramento/panorama>. Acesso em: 02/10/2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/campos-de-julio/panorama>. Acesso em: 02/10/2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/sapezal/panorama>. Acesso em: 02/10/2024.

KAPLAN, G.; AVDAN, U. (2017). *Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery.* European Journal of Remote Sensing, 50(1), pp. 137–143. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1297540>. Acesso em: 04/10/2024

VAEZA, R.F. et al. *Uso e ocupação do solo em Bacia Hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução.* Floresta e Ambiente, v. 17, n. 1, p. 23-29, 2010. Acesso em: 03/10/2024

VALÉRIO, A.M. (2009). *O uso do sensoriamento remoto orbital e de superfície para o estudo do comportamento do corpo de água do reservatório de Manso, MT, Brasil.* Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Acesso em: 03/10/2024

ZOU, Zhenhua et al. *Continued decrease of open surface water body area in Oklahoma during 1984–2015.* Science of the Total Environment, v. 595, p. 451-460, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.259>.