AVALIAÇÃO DA PRECISÃO DO NDWI PARA MAPEAMENTO DE BARRAGENS DE PEQUENO PORTE: UM ESTUDO DE CASO EM VÁRZEA GRANDE/MT

Yara Dias Pereira[1], *Fernanda Puga*[2]

[1]Especialização em Segurança de Barragens, Universidade Federal da Bahia (UFBA), yarageologa@gmail.com
[2]Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, UFBA, Rua Prof. Aristides Novis, nº 02 Federação, Salvador - Bahia – Brasil, fernanda.puga@ufba.br;

RESUMO

Este estudo avaliou o uso do Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) no mapeamento de barragens de usos múltiplos no município de Várzea Grande/MT. Imagens dos satélites Landsat 8, Sentinel-2 e CBERS-4 foram processadas com o NDWI para detectar as barragens. A análise de precisão foi realizada comparando os polígonos extraídos com uma base de dados de referência gerada por varredura visual no Google Earth. Os resultados indicaram uma baixa taxa de verdadeiros positivos e elevado número de falsos positivos, evidenciando que o NDWI isoladamente apresenta limitações para detectar pequenas barragens. Abordagens híbridas, integrando dados adicionais e outros índices espectrais, são recomendadas para melhorar a qualidade da detecção. Esses resultados são particularmente relevantes para o gerenciamento de barragens em Mato Grosso, onde a ausência de bases de dados atualizadas representa um desafio crítico para a segurança hídrica e a fiscalização de barragens.
Palavras-chave **-** NDWI, detecção de barragens, Landsat-8, Sentinel-2, CBERS-4.

ABSTRACT

This study evaluated the use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) for mapping multipurpose dams in Várzea Grande, MT. Satellite images from Landsat 8, Sentinel-2, and CBERS-4 were processed with NDWI to detect dams. Accuracy analysis was conducted by comparing extracted polygons with a reference database generated through visual scanning in Google Earth. The results showed a low true positive rate and a high number of false positives, highlighting NDWI's limitations in detecting small dams when used alone. Hybrid approaches, integrating additional data and other spectral indices, are recommended to enhance detection quality. These findings are particularly relevant for dam management in Mato Grosso, where the lack of updated databases presents a critical challenge for water security and dam inspection.
Key words **-** NDWI, dam detection, Landsat, Sentinel, CBERS.

1. INTRODUÇÃO

A gestão eficiente de reservatórios de água é fundamental para garantir a segurança hídrica e prevenir desastres em regiões que dependem desses recursos. Nesse contexto, barragens desempenham um papel crucial ao armazenar água para uma diversidade de usos, como irrigação, abastecimento, geração de energia, piscicultura e recreação, equilibrando a necessidade humana com a preservação ambiental [1]. No Brasil, esse desafio é particularmente relevante em estados como Mato Grosso, onde a manutenção de bases de dados atualizadas sobre barragens é dificultada pela vasta extensão territorial e pela escassez de corpo técnico especializado. A estiagem severa de 2021 intensificou esses problemas, levando à construção acelerada de barragens, muitas vezes sem planejamento ou estudos de impacto adequados, aumentando os riscos [2].

Para mitigar esses desafios, a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB – Lei 12.334/2010) estabeleceu diretrizes para a fiscalização dessas estruturas. No estado de Mato Grosso, cabe à Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA/MT) monitorar barragens de pequeno porte, que representam a maior parte dessas estruturas [3]. Como alternativa econômica e de fácil aplicação, o Sensoriamento Remoto surge como uma solução viável para o monitoramento contínuo de reservatórios. Entre os métodos disponíveis, destaca-se o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI), amplamente aplicado na extração de corpos d'água em imagens de satélites[4], [5], [6].

Pesquisas recentes mostram que a precisão do NDWI pode ser aprimorada quando combinado com técnicas avançadas, como algoritmos de aprendizado e segmentação, especialmente em áreas com interferência de vegetação e urbanização [7], [8]. No entanto, o estsdo do Mato Grosso ainda carece de metodologias sistemáticas para identificar e mapear barragens menores [1].

Diante desse cenário, este estudo propõe o uso do NDWI para mapear reservatórios de usos múltiplos no município de Várzea Grande/MT. A escolha do NDWI justifica-se pela sua capacidade comprovada de detectar corpos d'água em áreas de difícil acesso e pela disponibilidade de imagens de satélites com cobertura espacial e temporal adequadas. Espera-se que os resultados deste estudo contribuam para o desenvolvimento de uma metodologia replicável em outras áreas do estado, auxiliando na criação de uma base de dados confiável sobre pequenos reservatórios [4], [6].

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado no município de Várzea Grande, localizado no estado de Mato Grosso, Brasil. A região foi escolhida pela alta concentração de barragens de usos múltiplos, principalmente voltadas para irrigação e aquicultura, e também pela ausência de uma base de dados atualizada sobre essas estruturas.

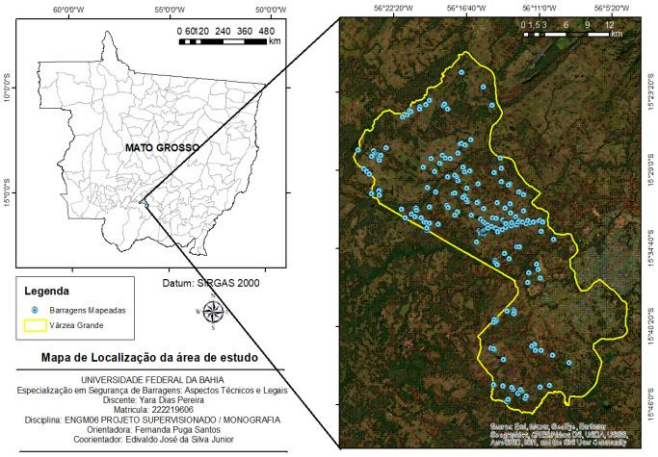


Figura 1. Mapa de Localização da área de estudo com foco nas barragens mapeadas

2.2 Dados Utilizados

Foram utilizadas imagens de três satélites diferentes: Landsat 8, Sentinel-2, e CBERS-4. As imagens foram obtidas para diferentes datas durante o período de 2021, com foco no período pós-estiagem.

2.3 Processamento das Imagens

O processamento das imagens foi realizado utilizando o índice espectral NDWI, que permite a realce de áreas de água, suprimindo a resposta de solo e vegetação. Para cada imagem, o NDWI foi calculado a partir da equação proposta por McFeeters (1996):

$$NDWI = \frac{Banda\ Verde - Banda\ Infravermelho\ Próximo}{Banda\ Verde + Banda\ Infravermelho\ Próximo}$$

Após o cálculo NDWI, as áreas de água foram segmentatadas por meio de técnica de limiarização. Essa técnica consiste em definir um limiar de valor de NDWI, acima do qual as áreas são classificadas como corpos d'água, e abaixo do qual são descartadas. A segmentação foi ajustada com base na análise visual especificamente para garantir a precisão na identificação de pequenos reservatórios, com foco nas barragens de menos de 15 metros de altura e volume inferior a 3 hm³, de acordo com os critérios estabelecidos pela Política Nacional de Segurança de Barragens [3].

2.4 Análise de precisão

A análise de precisão foi realizada utilizando um *ground truth* (GT) realizado por varredura visual feita no Google Earth, na qual foram identificadas 198, como mostra a Figura 1. Esse conjunto de barragens foi considerado como a verdade de campo e utilizado como referência para a comparação com os polígonos extraídos por NDWI.

Para cada imagem de satélite, foi realizada a comparação entre os polígonos extraídos e os polígonos GT. O grau de correspondência foi avaliado por meio da acurácia geral, medida pela proporção de barragens corretamente identificadas. Além disso, para avaliar o desempenho geral da detecção, foi utilizada a métrica de porcentagem de qualidade (Q) [7]. Esta métrica considera tanto a taxa de detecção verdadeira (TDV) quanto a taxa de detecção falsa (TDF), além de incluir o fator de ramificação (B), que mede a proporção entre falsos positivos e verdadeiros positivos. A fórmula utilizada para calcular a porcentagem de qualidade é dada por:

$$Q = \frac{TDV}{TDV + TDF + B} \times 100$$

3. RESULTADOS OBTIDOS

As imagens processadas com NDWI permitiram a identificação das principais barragens da área de estudo. No entanto, os resultados variaram para cada satélite.

Na extração para o Landsat 8, foram gerados 502 polígonos, dos quais 163 correspondiam às localizações de barragens detectadas no levantamento visual, resultando em um percentual de 32,47% de verdadeiros positivos (VP). Isso significa que 32,47% dos polígonos classificados como barragens pelo NDWI realmente eram barragens. No entanto, 67,52% dos polígonos foram classificados como falsos positivos (FP), ou seja, áreas identificadas como barragens que, na realidade, não eram. Além disso, 35 barragens presentes no levantamento visual não foram detectadas, representando 6,97% de falsos negativos (FN). A Figura 2 ilustra o resultado dessa extração para as imagens Landsat 8.

No caso do Sentinel-2, o NDWI gerou um total de 2.223 polígonos, com 187 verdadeiros positivos, correspondendo a 8,41% do total de áreas mapeadas. O número de falsos positivos foi elevado, totalizando 91,58% (2.036 polígonos). Por outro lado, o número de barragens que não foram detectadas (falsos negativos) foi bastante baixo, com 11 barragens não identificadas, correspondendo a 0,49%. A Figura 3 apresenta os resultados do Sentinel-2.

Por fim, o resultado do CBERS-4 foi o que gerou o menor número de polígonos, com 200 áreas identificadas como possíveis barragens. Desses, 68 polígonos foram considerados verdadeiros positivos, representando 34%. O percentual de falsos positivos foi de 66% (132 polígonos), enquanto 130 barragens detectadas no levantamento visual não foram identificadas, resultando em 65% de falsos negativos (Figura 4).

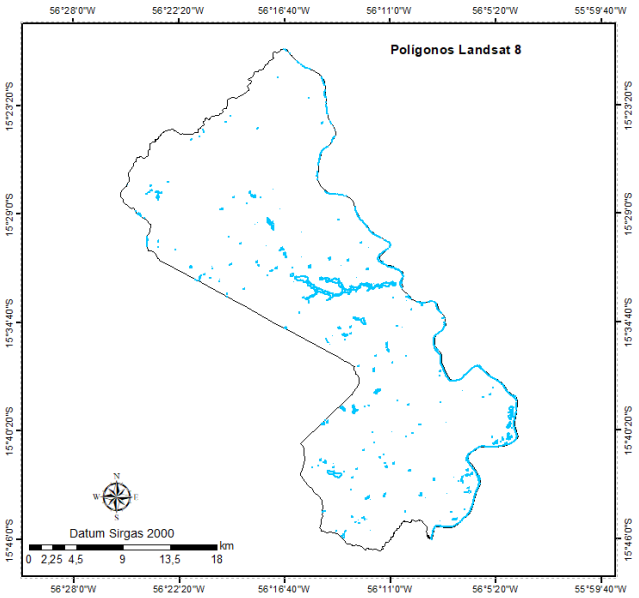


Figura 2. Resultados obtidos pela imagem Landsat-8

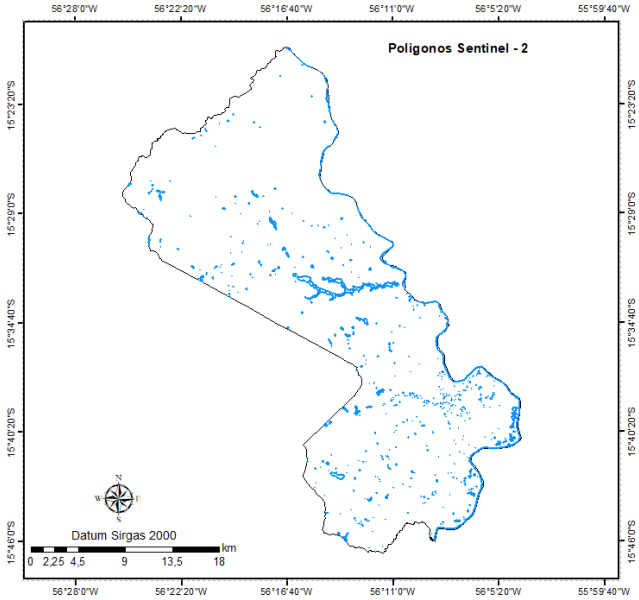


Figura 3. Resultados obtidos pela imagem Sentinel-2

A Figuras 5 apresenta um resumo dos resultados obtidos para cada um dos processamentos, detalhando os valores de VP, FP e FN em relação ao uso do NDWI para a detecção de barragens.

Os valores de Q para os satélites Landsat-8, Sentinel-2 e CBERS-4 foram, respectivamente, 23,00%, 7,40% e 11,66%, conforme mostrado na Tabela 2. Esses resultados indicam que, embora o Landsat-8 tenha apresentado uma porcentagem de qualidade moderada, o Sentinel-2, apesar de sua resolução superior, apresentou um número elevado de falsos positivos, impactando negativamente sua pontuação de qualidade. Esses achados são consistentes com estudos anteriores que discutem a limitação do NDWI isolado em áreas de alta complexidade geográfica, onde sombras e vegetação densa interferem nos resultados de detecção [8].

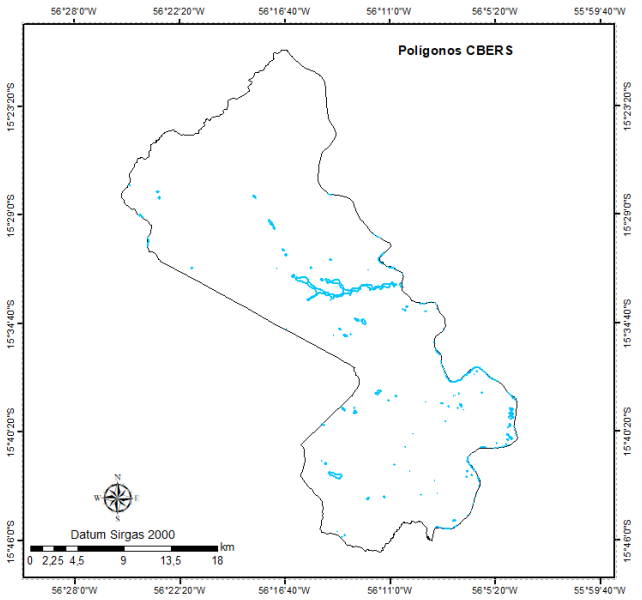


Figura 4. Resultados obtidos pela imagem CBERS-4

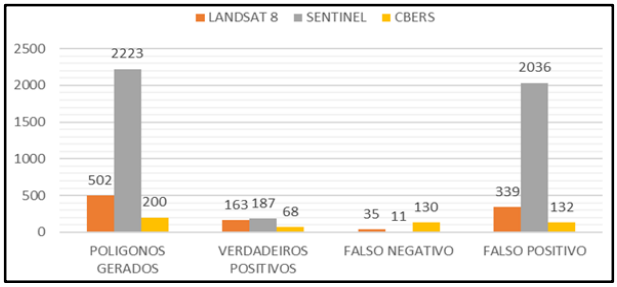


Figura 5. Resultados obtidos pela imagem CBERS 4

	TDV	TDF	B	Q
LANDSAT 8	0,823	0,675	2,079	23,00 %
SENTINEL	0,944	0,915	10,887	7,40 %
CBERS	0,343	0,660	1,941	11,66 %

Tabela 1. Regras para tabelas são as mesmas das figuras.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados da análise de detecção de barragens com o NDWI demonstraram um desempenho muito aquém do satisfatório, evidenciando que a aplicação do índice isoladamente não foi eficaz para a detecção precisa das barragens. Os valores de qualidade de detecção, representados na Tabela 2, mostram que a maior parte dos polígonos extraídos pelo NDWI não correspondia a barragens reais, resultando em uma baixa taxa de verdadeiros positivos e uma alta quantidade de falsos positivos, particularmente nas imagens de resolução mais alta, como as do Sentinel-2.

O Landsat 8 apresentou um percentual de 23,00% de qualidade de detecção, o que significa que menos de um terço das áreas classificadas como barragens correspondiam, de

fato, a estruturas reais. O número de falsos positivos foi alto, com 339 áreas classificadas erroneamente, o que pode ser atribuído à baixa resolução espacial do satélite, dificultando a discriminação de pequenos corpos d'água em áreas com grande cobertura de vegetação e relevo complexo.

Por outro lado, o Sentinel-2, embora tenha uma resolução espacial mais elevada, apresentou um valor extremamente baixo de qualidade de detecção (7,4%), evidenciando que o alto número de falsos positivos (2.036 áreas) impactou diretamente a eficácia da metodologia aplicada. Apesar da alta resolução do Sentinel-2, esses resultados indicam que a aplicação isolada do NDWI não foi suficiente para lidar com as particularidades da área de estudo, como a presença de sombras e vegetação densa, que resultaram em uma quantidade significativa de detecções incorretas.

O CBERS-4, com resolução intermediária, apresentou uma qualidade de detecção de 11,66%, com 68 verdadeiros positivos e um número relativamente elevado de falsos negativos (130). Isso sugere que, embora a resolução do CBERS-4 tenha sido suficiente para identificar algumas barragens de médio porte, ele teve dificuldades em identificar barragens menores ou situadas em áreas com características geográficas complexas.

Esses resultados contrastam com estudos anteriores que mostram a eficiência do NDWI na detecção de grandes corpos d'água em áreas menos complexas [1]. A combinação de NDWI com outras técnicas, como o MNDWI, ou a integração de dados complementares, como modelos digitais de elevação (DEM), poderia reduzir a quantidade de falsos positivos e falsos negativos, como sugerido por Feyisa et al. (2014) [2].

A literatura também sugere que o uso de algoritmos mais avançados de segmentação, como métodos de aprendizado de máquina supervisionado, poderia melhorar significativamente a precisão da detecção de barragens de pequeno porte em áreas de difícil acesso [8]. A elevada quantidade de falsos positivos detectados no Sentinel-2 e no Landsat 8 também destaca a necessidade de ajustar os limiares utilizados para a segmentação, conforme as características regionais.

5. CONCLUSÕES

Nos testes realizados neste estudo, foi verificado que o NDWI, quando aplicado de forma isolada, não foi suficiente para a detecção precisa de barragens de pequeno e médio porte no município de Várzea Grande/MT. As taxas de verdadeiros positivos foram relativamente baixas e o número de falsos positivos foi significativamente elevado, o que inviabiliza o uso exclusivo deste método para mapeamento de barragens.

Os resultados sugerem que a detecção de barragens em regiões com características geográficas desafiadoras, como vegetação densa e variações topográficas, requer a combinação de múltiplas abordagens. O uso de índices adicionais, como o MNDWI, ou a integração de outras fontes de dados, como modelos digitais de elevação e técnicas de aprendizado de máquina, pode aumentar a precisão da identificação de barragens.

Portanto, recomenda-se a adoção de abordagens híbridas que combinem diferentes tipos de dados e metodologias para aprimorar a qualidade da detecção. Para estudos futuros, pretende-se explorar essas alternativas e realizar testes adicionais que integrem essas novas tecnologias ao processo de monitoramento de barragens.

6. REFERÊNCIAS

[1] 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), 1425–1432.

[2] Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). "Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery." Remote Sensing of Environment, 140, 23–35.

[3] Lei 12.334/2010. Política Nacional de Segurança de Barragens e suas atualizações.

[4] Huang, C., Zhang, L., & Wu, M. (2015). "An automated method for water extraction from Landsat 8 imagery." Remote Sensing Letters, 6(2), 155–164.

[5] Hong, F., Chen, Y., & Zeng, J. (2018). "A novel CNN-based framework for water body extraction from remote sensing images." PLOS ONE, 13(8).

[6] Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). "High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes." Nature, 540, 418–422.

[7] Radke, R. J., Andra, S., Al-Kofahi, O., & Roysam, B. (2005). "Image change detection algorithms: A systematic survey." IEEE Transactions on Image Processing, 14(3), 294-307.

[8] Xu, Z., Zhao, H., Zhao, Q., & Xiang, S. (2024). "Change Detection Methods for Remote Sensing in the Last Decade: A Comprehensive Review." Remote Sensing, 16(13), 2355–2365.