XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE
XVIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NA TURBIDEZ DE RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO A PARTIR DE SENSORIAMENTO REMOTO

Eduardo Gonçalves Patriota [1] ; Cinthia Maria de Abreu Claudino [2;] José Lindemberg Vidal Barbosa [3]; Filipe Carvalho Lemos [4]; Guillaume Francis Bertrand [5]; Cristiano das Neves Almeida[6]; Victor Hugo Rabelo Coelho [7]

RESUMO - A qualidade da água de reservatórios superficiais pode ser afetada pelas mudanças ocorridas na superfície contribuinte, ocasionando a presença de sedimentos, substâncias dissolvidas e poluentes orgânicos que aumentam a turbidez. Esse parâmetro possui um monitoramento convencional demorado, mas pode ser facilmente acessado com imagens de satélite. Este trabalho avaliou o impacto das mudanças na cobertura vegetal na turbidez de cinco reservatórios do semiárido brasileiro em períodos seco e úmido, por meio de imagens Landsat. Foram quantificados o Indice de Turbidez por Diferença Normalizada (NDTI) para os corpos hídricos, bem como o Indice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Indice de Vegetação Melhorado 2 (EVI2) para as respectivas bacias de contribuição. Correlações entre as series de NDTI, três classes de turbidez e a dinâmica vegetacional indicaram impactos significativos, com NDTI apresentando coeficientes de -0,57 (NDVI) e -0,60 (EVI2) para o período seco e -0,87 (NDVI e EVI2) para o período úmido. A preservação da vegetação se configurou como fator decisivo para turbidez, especialmente em períodos chuvosos. Observou-se ainda que o EVI2 foi superior ao NDVI em capturar essa relação em diferentes regimes climatológicos.

ABSTRACT - The superficial reservoirs' water quality can be affected by contribution surface changes, leading to the presence of sediments, dissolved substances and organic pollutants that increase turbidity. This parameter has a long conventional monitoring, but it can be easily accessed with satellite images. This study evaluated the impact of vegetation cover changes in the turbidity of five reservoirs from the Brazilian semiarid using Landsat images. The Normalised Difference of Turbidity Index (NDTI) for the water bodies, and the Normalised Difference of Vegetation Index (NDVI) and the Enhanced Vegetation Index 2 (EVI2) for the respective contributing watersheds. Correlations between the NDTI series, three turbidity classes and the vegetation dynamics indicated significant impacts, with NDTI presenting coefficients from -0.57 (NDVI) to -0.60 (EVI2) for the dry period and -0.87 (NDVI and EVI2) for the wet period. The vegetation preservation was classified as decisive factor for turbidity, especially in wet periods. It was observed that EVI2 was superior compared to NDVI for capturing this relationship in different climatological regimes.

Palavras-Chave - Turbidez, Landsat, semiárido.

[1]) Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental, UFPB, Campus João Pessoa, (83) 99655-3877, e-mail: edugoncalvespatriota@gmail.com
[2]) Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental, UFPB, Campus João Pessoa, (83) 9996189626, cinthiamariaac@gmail.com
[3]) Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental, UFPB, Campus João Pessoa, (83) 99729552, lindembergvidal@gmail.com
[4]) Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental, UFPB, Campus João Pessoa, (83) 99964-3487, filipe_carvalho_l@hotmail.com
[5]) Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UFPB, Campus João Pessoa; (33)6466578 37, Bourgogne Franche-Comté University, UMR UFC CNRS 6249 Chrono-Environnement, 25200 Montbéliard, France; guillaume353@gmail.com
[6]) Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UFPB, Campus João Pessoa, (83) 993490880, almeida74br@yahoo.com.br
[7]) Prof. Dr. do Departamento de Geociências, UFPB, Campus João Pessoa, (83) 988861663, victor.coelho@academico.ufpb.br

INTRODUÇÃO

Os reservatórios superficiais do semiárido, principais fontes para o abastecimento humano e agricultura da região, desempenham um papel estratégico e fundamental na segurança hídrica da região Nordeste, garantindo disponibilidade hídrica em épocas de estiagem (Medeiros et al., 2019). Entretanto, não somente a disponibilidade de água é importante, como também a sua qualidade, afetada pela presença de sedimentos suspensos, substâncias dissolvidas e poluentes orgânicos (Latwal et al., 2025).

Tais fatores intensificam a turbidez, parâmetro chave na determinação da qualidade de água que reflete sua transparência por meio da dispersão e absorção da luz por partículas em suspensão (Sebastiá-Frasquet et al., 2019). Essa medida influencia o ecossistema aquático ao alterar a temperatura da água, a quantidade de oxigênio dissolvido e a produtividade primária (Latwal et al., 2023), além de estar intimamente ligada ao assoreamento de reservatórios, impulsionado pela erosão do solo e o transporte de sedimentos. A compreensão da sua relação com as características da bacia hidrográfica são essenciais (Chawla et al., 2020; Pompapathi et al., 2022), uma vez que mudanças de uso e ocupação da terra e alterações na cobertura vegetal afetam os processos erosivos (Ahmed et al., 2025). Entretanto, seu monitoramento convencional por meio da coleta de amostras *in-situ* e uma análise regionalizada de grandes áreas são processos demorados e que exigem muitos recursos (Gholizadeh et al., 2016; Karaoui et al., 2019).

Nesse contexto, técnicas de sensoriamento remoto (SR) constituem uma alternativa eficiente ao prover quantificações espacializadas e frequentes da turbidez de corpos hídricos, com metodologias que se baseiam na reflectância espectral da água das bandas do vermelho e do verde (Gholizadeh et al., 2016), como o Índice de Turbidez por Diferença Normalizada (NDTI) (Garg et al., 2020; Lacaux et al., 2007). De forma semelhante, permitem também acessar a dinâmica vegetacional de maneira contínua através dos índices de vegetação que ajudam no monitoramento da saúde da vegetação (Tian et al., 2025) e na verificação de alterações decorrentes do desmatamento (Qiu et al., 2026).

Estudos globais que utilizaram imagens de satélite já constataram o impacto das modificações da cobertura vegetal na turbidez de reservatórios em diversos contextos climáticos (Zhang et al., 2022, Latwal et al., 2025, Steibach et al., 2025). Todavia, não há registros de estudos focados em regiões semiáridas que analisem a relação da turbidez com índices de vegetação quantificados a nível de bacia de contribuição dos reservatórios, bem como comportamento dessa relação em regimes pluviométricos distintos.

Assim o presente estudo tem como objetivo analisar a influência da cobertura vegetal na turbidez de cinco reservatórios do semiárido brasileiro, utilizando índices espectrais derivados de imagens

Landsat. Esta abordagem leva em consideração a coleta de imagens em diferentes contextos meteorológicos (períodos seco e úmido), bem como avalia dois índices de vegetação no que diz respeito ao impacto da vegetação na turbidez de águas superficiais.

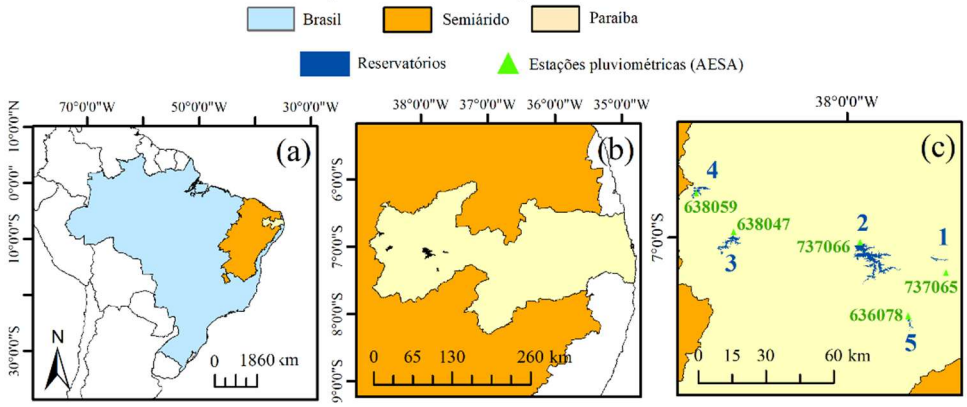
METODOLOGIA

Área de estudo

A presente investigação foi conduzida em cinco reservatórios localizados na região semiárida do Nordeste brasileiro, mais especificamente na porção oeste do estado da Paraíba (Figura 1), entre as latitudes 5,88°S e 8,38°S e longitudes 38,88°O e 34,63°O. Os reservatórios, por ordem de capacidade máxima (m³), são: Coremas (744.144.694 m³), Engenheiro Ávidos (293.617.376 m³), Lagoa do Arroz (80.388.537 m³), Cachoeira dos Cegos (71.887.047 m³) e Jenipapeiro (70.757.250 m³).

O bioma típico do local é a Caatinga, constituída de floresta tropical sazonalmente seca que apresenta bosques densos e arbustos espinhosos esparsos. Com temperaturas do ar que variam de 26 e 30 ºC, a região passa por prolongados períodos de estiagem, com chuvas anuais entre 300 e 800 mm (Santos et al. 2021).

Figura 1 - Localização do (a) semiárido brasileiro, (b) do estado da Paraíba, e (c) dos cinco reservatórios e respectivas estacoes pluviométricas



Períodos de análise e coletas das imagens de satélite

Por meio de dados mensais de precipitação acumulada (mm) obtidos de 5 estacoes convencionais (Figura 1) da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA-PB), foram definidos os períodos de aquisição das imagens de satélite entre 01/01/2006 e 31/12/2022. Para cada ano e reservatório, os períodos seco e úmido corresponderam ao último mês de uma sequência de 3 meses de baixa precipitação mensal acumulada e ao último mês após uma sequência de 3 meses de alta precipitação mensal acumulada, respectivamente. O critério de três meses consecutivos foi mantido de forma consistente para todos os anos da série histórica, inclusive durante eventos de seca prolongada, como o período entre 2012 e 2016, nos quais a definição dos períodos

seco e úmido permaneceu baseada na sazonalidade relativa da precipitação observada em cada ano, não sendo necessários ajustes específicos no limiar adotado.

Assim, por meio da plataforma de análises geoespaciais *Google Earth Engine* (GEE), chegou-se uma amostra de 38 imagens de reflectância da superfície (nível 2) com resolução espacial de 30 m e temporal de 16 dias, disponibilizadas pelas missões Landsat 5 (*Sensor Thematic Mapper*/TM) e Landsat 8 (*Operational Land Imager*/OLI), escolhidas de forma exploratória pela ausência de nuvens.

Determinação das bacias de contribuição e espelho d'água dos reservatórios

Para a análise da dinâmica vegetacional foi utilizada a área definida pela bacia de contribuição de cada um dos reservatórios. A delimitação da bacia contribuinte se baseou nas direções de fluxo calculadas com o modelo digital de elevação FABDEM (*Forest and Building removed Copernicus DEM*) (Hawker et al., 2022) e na localização geográfica da barragem, que corresponde ao exutório da bacia de contribuição.

Adicionalmente, calculou-se o Índice Automatizado de Extração de Água com Eliminação de Sombras (AWEIsh) (Feyisa et al. 2014) a fim de se obter a área do espelho d'água, representada pelos pixels positivos do índice (AWEIsh > 0). A utilização do AWEIsh também permitiu restringir o cálculo do NDTI exclusivamente aos pixels classificados como água, evitando que áreas de solo exposto decorrentes da retração do espelho d'água, especialmente durante períodos de estiagem severa, interferissem na estimativa da turbidez. Dessa forma, mesmo em anos de baixos volumes armazenados, a análise permaneceu limitada à superfície efetivamente inundada.

Quantificação da turbidez e dinâmica vegetacional

A turbidez dos reservatórios foi estimada pelo Índice de Turbidez por Diferença Normalizada (NDTI) (Lacaux et al. 2007) que utiliza a reflectância presente nas bandas do vermelho (*Red*) e do verde (*Green*) (Equação 1):

$$\mathrm{NDTI} = \frac{\mathrm{Red} - \mathrm{Green}}{\mathrm{Red} + \mathrm{Green}} \quad (1)$$

Com base na classificação de Latwal et al. (2025), foram quantificadas as áreas de baixa (NDTI < 0), média (0 < NDTI ≤ 0,15) e alta turbidez (NDTI > 0,15).

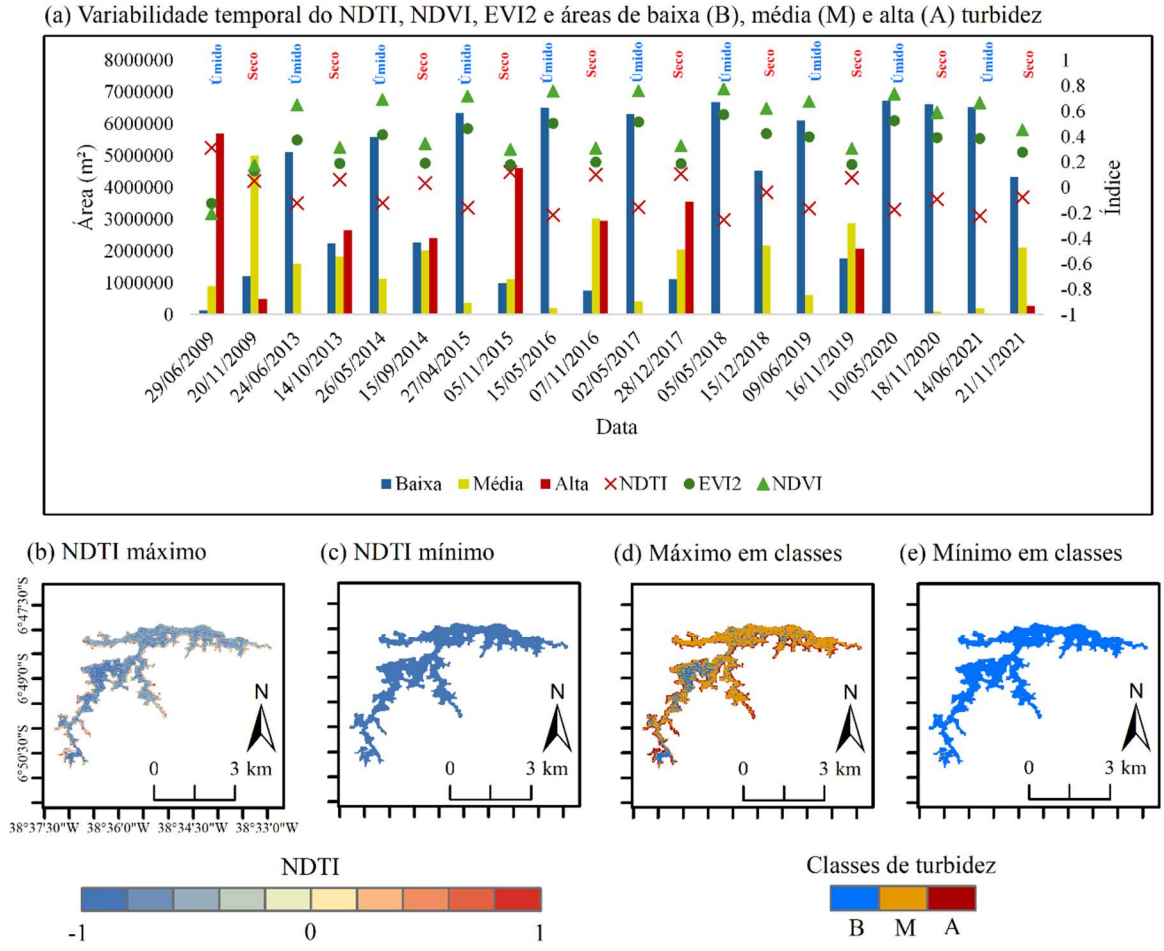
Por sua vez, o comportamento da vegetação nas bacias de contribuição foi acessado através da estimativa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, Rouse et al., 1973) e do Índice de Vegetação Melhorado 2 (EVI2, Jiang et al., 2008), de modo a verificar a capacidade de cada um em capturar a influência da vegetação na turbidez dos reservatórios. De modo geral, essa influência foi obtida com base na quantificação do coeficiente de correlação de Pearson para os dois regimes

pluviométricos (seco e úmido), estabelecido entre as séries temporais do NDTI médio dos reservatórios e as séries temporais de NDVI e EVI2 médios das bacias de contribuição correspondentes. De maneira complementar, as áreas de baixa, média e alta turbidez, também foram correlacionadas com as médias dos índices de vegetação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variabilidade temporal observada para os índices de turbidez (NDTI) e vegetação (NDVI e EVI2) se encontra exemplificada para o reservatório Lagoa do Arroz e sua respectiva bacia de contribuição na Figura 2a. Além disso, o gráfico traz consigo o valor das áreas em m^2 de alta, média e baixa turbidez ao longo do período de estudo. Complementarmente, observa-se a distribuição espacial da turbidez em seus valores médios máximo (Data: 29/06/2009; Figura 2b) e mínimo (Data: 05/05/2018; Figura 2c) na série temporal, bem como seus respectivos mapas com as classes de Baixa (B), Média (M) e Alta (A) turbidez (Figura 2d e 2e, respectivamente):

Figura 2 - (a) Variabilidade temporal dos índices de turbidez e vegetação e áreas de baixa, média e alta turbidez exemplificadas para o reservatório Lagoa do Arroz, (b) Distribuição espacial da turbidez média máxima, (c) mínima, (d) máxima classificada e (e) mínima classificada



Observa-se que quedas nos valores de NDTI do reservatório coincidiram com aumentos nos valores de NDVI e EVI2 da bacia de contribuição, com EVI2 apresentando menores estimativas. Concomitantemente, os aumentos de NDVI e EVI2 corresponderam a diminuição nas áreas de média e alta turbidez, com consequente compensação no aumento das áreas de baixa turbidez (NDTI < 0).

Quanto a diferença entre períodos seco e úmido, assim como nos demais reservatórios, a Figura 2 destaca o aumento do NDTI e a expansão de áreas com alta turbidez nas imagens de período seco, nos quais houve quedas no vigor vegetativo na bacia de contribuição. Isso permite inferir que apesar da pluviometria elevada durante período úmido, no qual se espera um processo erosivo mais intenso e uma maior descarga de sedimentos (Wu et al., 2025), a turbidez permanece baixa no reservatório, em decorrência da maior cobertura vegetal do entorno (Silva et al., 2026).

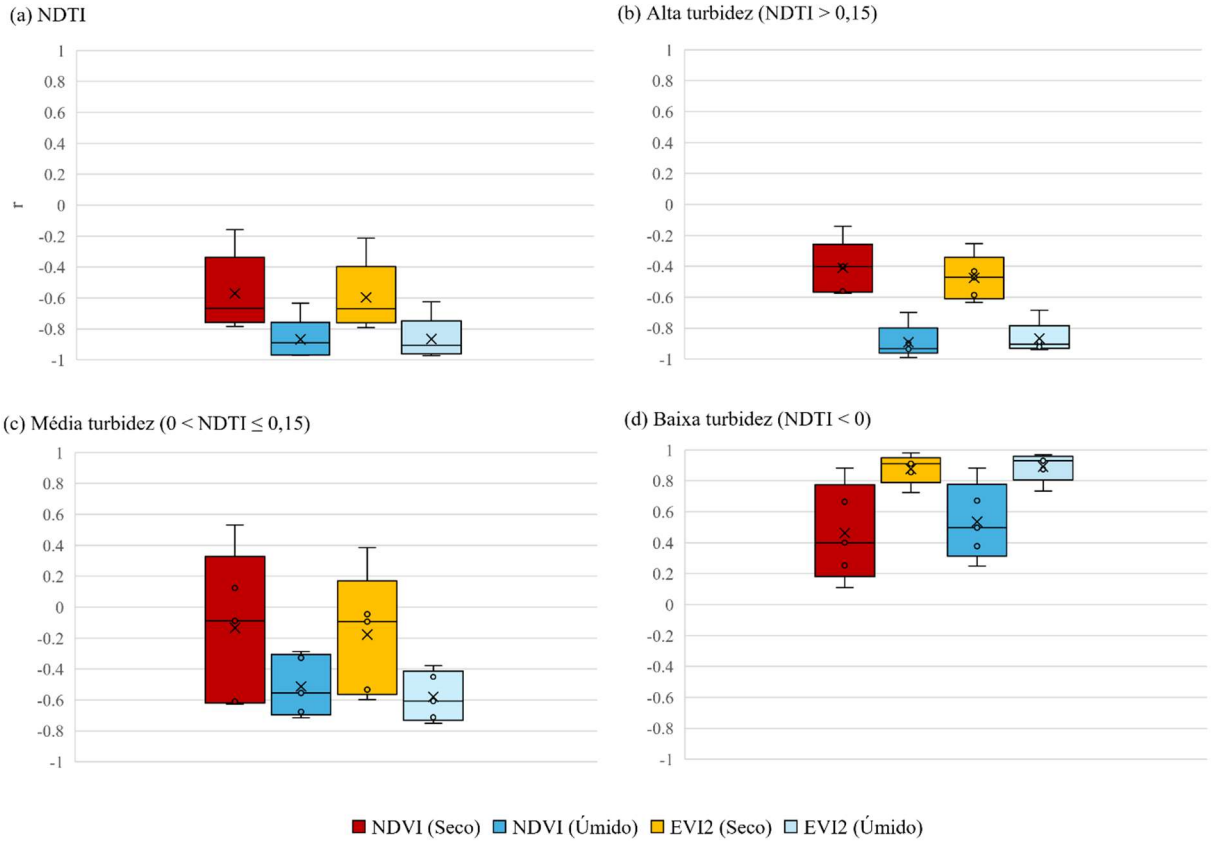
O aumento de NDTI no período seco pode estar atrelado a ocorrência de chuvas com baixa pluviometria que ao encontrar o solo com menor proteção vegetal, acarreta maior erosão e considerável transporte de sedimentos em comparação aos eventos do período úmido. Outrossim, no período seco, o tempo de residência de nutrientes orgânicos e maior em decorrência da redução da renovação da água (Luo et al., 2025). Atrelado a isso, uma maior incidência solar e temperaturas do ar mais elevadas (Wilson et al., 2024) ocasionam na proliferação sazonal de algas, fitoplâncton e cianobactérias, aumentando a concentração de partículas orgânicas e consequentemente impulsionando os valores de turbidez. Reservatórios com menores volumes efetivos são mais suscetíveis a esse fenômeno, uma vez que possuem baixa capacidade de diluição dessas partículas.

Além dos processos biológicos, a redução do volume armazenado durante o período seco também pode favorecer mecanismos físicos capazes de aumentar a turbidez. Em reservatórios rasos, a diminuição da profundidade torna a coluna d'água mais suscetível à ação do vento, que pode promover a ressuspensão de sedimentos previamente depositados no fundo. Esse processo aumenta a concentração de partículas em suspensão e pode contribuir para a elevação dos valores de NDTI, sobretudo em ambientes com maior exposição superficial e baixa profundidade média. Embora essa variável não tenha sido avaliada diretamente no presente estudo, sua influência representa um mecanismo complementar capaz de potencializar os efeitos observados durante a estação seca.

A relação entre a cobertura vegetal e a turbidez dos reservatórios também se sustenta nas correlações quantificadas e apresentadas na Figura 3, na qual se observa um impacto significativo dos índices de vegetação no NDTI de todos os reservatórios, bem como nas áreas classificadas. Quanto ao NDTI, o índice apresentou uma correlação negativa em todos os reservatórios e períodos (seco e úmido), com correlações gerais de -0,57 (NDVI) e -0,60 (EVI2) para o período seco e -0,87 (NDVI) e -0,87 (EVI2) para o período úmido. Também se obteve uma relação negativa entre as áreas de alta

e média turbidez dos reservatórios com a cobertura vegetal das bacias nos dois períodos. Por exemplo, para as áreas de alta turbidez, NDVI e EVI2 atingiram associações de -0,57 e -0,60, no período seco, e -0,89 e -0,87, no período úmido, respectivamente. Por outro lado, seguindo a mesma compensação exemplificada na Figura 2, os índices de vegetação apresentaram correlações positivas para as áreas de baixa turbidez, com valores de 0,46 (seco) e 0,88 (úmido) para o NDVI e 0,54 (seco) e 0,89 (úmido) para o EVI2.

Figura 3 - Correlações obtidas entre os índices de vegetação das bacias de contribuição (NDVI e EVI2) com (a) NDTI, (b) Áreas de alta turbidez (NDTI > 0,15), (c) Áreas de média turbidez (0 < NDTI ≤ 0,15) e (d) Áreas de baixa (NDTI < 0) turbidez dos reservatórios.



Tais associações entre as variáveis (Figura 3) indicam novamente o potencial da vegetação em mitigar os processos erosivos e a deposição de sedimentos em reservatórios do semiárido. A intensificação dessas relações negativas para as series temporais de período úmido do NDTI e das áreas de alta e média turbidez, com a ocorrência da atenuação dessas mesmas correlações no período seco refletem novamente o caráter sazonal da vegetação da região, a qual se encontra fotossinteticamente mais ativa e saudável durante os períodos chuvosos (Silva et al., 2026). Diversos estudos que analisaram a dinâmica vegetacional via SR (Zhou et al., 2024; Li et al., 2018; Feng et al., 2016; Zhou et al., 2022) já indicaram seu impacto hidrológico mais pronunciado em regiões semiáridas, nas quais o aumento da cobertura vegetal maximiza interceptação, infiltração e a retenção

de agua no solo, disponibilizando água para evapotranspiração, bem como minimiza a recarga dos corpos hídricos locais via escoamento superficial (Chen et al., 2024).

Também foram observadas diferenças entre os índices de vegetação quantificados nas bacias de contribuição, particularmente no que se refere a magnitude atingida e correlações obtidas com os parâmetros relativos a turbidez. Constatou-se que os valores de NDVI foram superiores aos de EVI2, que por sua vez apresentou correlações mais fortes, especialmente no período seco. Isso está relacionado a reduzida sensibilidade do EVI2 a interferências advindas do solo exposto frequentemente encontrado na estação seca e típico da região que possui vegetação mais esparsa (Silva et al., 2026), situação que usualmente prejudica a performance do NDVI (Han et al., 2025). Em contraste, na estação chuvosa, a vegetação mais densa reduz o solo exposto e consequentemente o NDVI performa de maneira semelhante ao EVI2 na captura da relação entre vegetação e turbidez dos reservatórios.

CONCLUSÃO

A quantificação dos índices espectrais relativos à turbidez e vegetação no contexto do semiárido permitiu inferir observações valiosas sobre a importância da vegetação na qualidade da água de reservatórios, particularmente na diminuição dos valores de turbidez.

O estudo indicou que a preservação da vegetação a nível de bacia é um fator decisivo para a qualidade da água dos reservatórios, especialmente em épocas úmidas, nas quais se tem maior cobertura vegetal e consequentemente redução no transporte de sedimentos devido ao aumento da interceptação. Observa-se ainda que dentre os parâmetros utilizados, o EVI2 é o índice de vegetação que mais se adequa em acessar a relação entre a cobertura vegetal e turbidez em diferentes regimes hidrológicos, perpassando a performance do NDVI.

Os resultados também indicam que processos hidrodinâmicos internos dos reservatórios, como a ressuspensão de sedimentos induzida pelo vento, podem atuar conjuntamente com a dinâmica da cobertura vegetal na determinação da turbidez, especialmente durante períodos de estiagem prolongada. A incorporação desses fatores constitui uma perspectiva relevante para estudos futuros.

Além disso, estudos futuros devem focar na análise de processos locais da vegetação, como a obtenção da variabilidade da vegetação ribeirinha e incorporação de dados de uso e ocupação da terra, que juntos podem ser fatores decisivos para os níveis de turbidez dos corpos hídricos. Tal aplicação pode permitir a comparação com resultados obtidos a nível de bacia de contribuição, bem como pode ser associado a outros parâmetros biofísicos da superfície e variáveis meteorológicas. Ademais, os níveis e classificações de turbidez podem ser acessados e aprimorados com amostras de campo e

sensores ópticos imersos diretamente na água que validem ou refutem as observações das imagens de satélite, garantindo maior acurácia científica do objeto estudado.

REFERÊNCIAS

CHAWLA, I., KARTHIKEYAN, L., MISHRA, A. K. (2020). *"A review of remote sensing applications for water security: Quantity, quality, and extremes"*. Journal of Hydrology, *585*, 124826.

CHEN, Y., FANG, G., LI, Z., ZHANG, X., GAO, L., ELBELTAGI, A., GAO, Y. (2024). *"The crisis in oases: research on ecological security and sustainable development in arid regions"*. Annual Review of Environment and Resources, 49(1), 1-20.

FENG, X., FU, B., PIAO, S., WANG, S., CIAIS, P., ZENG, Z., WU, B. (2016). *"Revegetation in China's Loess Plateau is approaching sustainable water resource limits"*. Nature Climate Change, 6(11), 1019-1022.

GHOLIZADEH, M. H., MELESSE, A. M., & REDDI, L. (2016). *"A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques"*. Sensors, 16(8), 1298.

HAN, J., ZHU, J., CAO, X., XI, L., QI, Z., LI, Y., ZOU, J. (2025). *"Extraction of Sparse Vegetation Cover in Deserts Based on UAV Remote Sensing"*. Remote Sensing, 17(15), 2665.

HAWKER, L., UHE, P., PAULO, L., SOSA, J., SAVAGE, J., SAMPSON, C., NEAL, J. (2022). *"A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed"*. Environmental Research Letters, 17(2), 024016.

JIANG, Z., HUETE, A. R., DIDAN, K., & MIURA, T. (2008). *"Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band"*. Remote sensing of Environment, 112(10), 3833-3845.

LATWAL, A., REHANA, S., RAJAN, K. S. (2023). *"Detection and mapping of water and chlorophyll-a spread using Sentinel-2 satellite imagery for water quality assessment of inland water bodies"*. Environmental Monitoring and Assessment, 195(11), 1304.

LATWAL, A., REHANA, S., RAJAN, K. S. (2025). *"Spatiotemporal analysis of turbidity in tropical reservoirs using Sentinel-2 satellite imagery under catchment dynamics"*. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 39, 101631.

LI, Y., PIAO, S., LI, L. Z., CHEN, A., WANG, X., CIAIS, P., ZHOU, L. (2018). *"Divergent hydrological response to large-scale afforestation and vegetation greening in China"*. Science Advances, 4(5), 4182.

LIU, Y., LI, Z., CHEN, Y., GAO, L., ZHANG, L., TURNADGE, C., HUANG, W. (2026). *"Vegetation dynamics offset nearly 30% of precipitation's impact on runoff and are amplified by aridity"*. One Earth, 9(2), 101612.

LUO, Q., ZHU, L., LI, D., ZU, Z., CHEN, K., WANG, J., YI, Y. (2025). *"Role of hydraulic residence time in shaping phytoplankton community assembly in the upper yellow river cascade reservoirs"*. Frontiers in Environmental Science, 13, 1551988.

MEDEIROS, I. C. DE, DA COSTA SILVA, J. F. C. B., SILVA, R. M., SANTOS, C. A. G. (2019). *"Run-off–erosion modelling and water balance in the Epitácio Pessoa Dam river basin, Paraíba State in Brazil"*. International journal of environmental science and technology, 16(7), 3035-3048.

POMPAPATHI, V., GUJRATI, A., CHANDER, S., SOLANKI, H. A. (2022). *"Spatio-temporal variability of Turbidity over Ukai Reservoir, by using RS2/R2A LISS III Satellite datasets"*. Int J Sci Res Sci Technol, *9*(3), 377-386.

ROUSE, J.W., HAAS, R.H., DEERING, D.W., SCHELL, J.A., AND HARLAN, J.C. (1973). "*Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation*". Progress Report, Texas A&M University.

SANTOS, C. A. G., NETO, R. M. B., NASCIMENTO, T. V. M. DO, SILVA, R. M. DA, MISHRA, M., FRADE, T. G. (2021). *"Geospatial drought severity analysis based on PERSIANN-CDR-estimated rainfall data for Odisha state in India (1983-2018)".* Science of The Total Environment, 750, 141258.

SEBASTIÁ-FRASQUET, M. T., AGUILAR-MALDONADO, J. A., SANTAMARÍA-DEL-ÁNGEL, E., ESTORNELL, J. (2019). *"Sentinel 2 analysis of turbidity patterns in a coastal lagoon"*. Remote Sensing, 11(24), 2926.

SILVA, L. J., DA COSTA, L. M., DE OLIVEIRA BORDONAL, R., PANOSSO, A. R., PEREIRA, T. T. C., MESSIAS, C. G., LA SCALA JR, N. (2026). *"Predominantly positive XCO2 anomalies in the Caatinga biome highlight carbon vulnerability"*. Scientific Reports, 16, 7783.

STEINBACH, S., BARTELS, A., RIENOW, A., KURIA, B. T. O., ZWART, S. J., NELSON, A. (2025). *"Predicting turbidity dynamics in small reservoirs in central Kenya using remote sensing and machine learning"*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 136, 104390.

TAN, X., JIA, Y., YANG, D., NIU, C., & HAO, C. (2024). "*Impact ways and their contributions to vegetation-induced runoff changes in the Loess Plateau*". Journal of Hydrology: Regional Studies, 51, 101630.

TIAN, Z., FAN, J., YU, T., DE LEON, N., KAEPPLER, S. M., ZHANG, Z. (2025). *"Mitigating NDVI saturation in imagery of dense and healthy vegetation"*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 227, 234-250.

WU, J., LIU, W., ZHANG, J. Y., CHEN, X., YU, Z., LUAN, J., WANG, G. (2025). *"Sediment transport rate variability over time: Individual and synergistic effects of precipitation and flow"*. Journal of Hydrology: Regional Studies, 59, 102410.

ZHOU, S., WILLIAMS, A. P., LINTNER, B. R., FINDELL, K. L., KEENAN, T. F., ZHANG, Y., GENTINE, P. (2022). *"Diminishing seasonality of subtropical water availability in a warmer world dominated by soil moisture–atmosphere feedbacks"*. Nature communications, 13(1), 5756.