

Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para a análise espaço-temporal da Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova (Pernambuco)

Nara Tôres Silveira^{1*}, Tayran Oliveira dos Santos², Igor Maciel Tibúrcio³, Josiclêda Domiciano Galvínio⁴

¹Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. (*Autor correspondente:naarasilveira@gmail.com)

²Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

³Graduando em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

⁴Professora do Departamento de Ciências Geográficas e do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Bolsista de pesquisa do CNPq. Pesquisador Mentor da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 23/10/2022 – Revisado em: 11/11/2022 – Aceito em: 30/11/2022

RESUMO

Estudar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em bacias hidrográficas é extremamente importante, uma vez que, auxilia na gestão e consequentemente numa melhor tomada de decisão. O objetivo deste estudo foi analisar as mudanças no uso e ocupação do solo em uma área do semiárido pernambucano. O estudo apreendeu-se em três imagens Landsat 5 e 8 entre os anos de 1998, 2008 e 2018 na Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova. No ano de 1998, foi possível observar valores de NDVI entre (0,1 – 0,4), evidenciando vegetação de cobertura “rala”. Em 2008, verifica-se NDVI com valores predominantes entre (0,1 – 0,3), apresentando vegetação de cobertura “rala” e maiores áreas de solo exposto. No ano de 2018, os valores de NDVI predominantes ficaram entre (0,2 – 0,4), classificando-se como vegetação de cobertura “rala”, se assemelhando ao ano de 1998. Os valores de NDVI apresentados evidenciam uma mudança na dinâmica da cobertura vegetal da bacia, também foi possível observar a inserção de corpos hídricos através dos reservatórios Nilo Coelho e Serra do Livramento provenientes do Projeto de Integração do rio São Francisco (PISF). Contudo, conclui-se que apesar do predomínio das áreas de Caatinga na bacia, houve uma intensificação da ação antrópica ao longo dos anos, com o crescimento das áreas agrícolas, por consequência da maior disponibilidade hídrica na região.

Palavras-Chaves: Sensoriamento remoto, NDVI, Semiárido, Caatinga.

Application of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for spatial-temporal analysis of the Terra Nova River Basin (Pernambuco)

ABSTRACT

Studying the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in watersheds is extremely important, since it helps in the management and consequently in better decision making. The aim of this study was to analyze the changes in land use and occupation in an area of the semi-arid pernambuco. The study was seized on three Landsat 5 and 8 images between 1998, 2008 and 2018 in the Terra Nova River Watershed. In 1998, it was possible to observe NDVI values between (0.1 - 0.4), evidencing vegetation with "thin" cover. In 2008, NDVI was found with predominant values between (0.1 - 0.3), presenting "thin" cover vegetation and larger areas of exposed soil. In 2018, the predominant NDVI values were between (0.2 – 0.4), classifying as "thin" cover vegetation, similar to 1998. The NDVI values presented show a change in the dynamics of the vegetation cover of the basin, it was also possible to observe the insertion of water bodies through the Nilo Coelho and Serra do Livramento reservoirs from the São Francisco River Integration Project (PISF). However, it is concluded that despite the predominance of caatinga areas in the basin, there has been an intensification of anthropic action over the years, with the growth of agricultural areas, due to the greater water availability in the region.

Keywords: Remote sensing, NDVI, Semiarid, Caatinga.

Tôrres Silveira, N., Santos, T. O. dos, Tibúrcio, I. M., Galvínio, J. D. (2022). Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para a análise espaço-temporal da Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova (Pernambuco). Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto., v.3, n.3, p.20-29.



1. Introdução

Nos últimos anos, a degradação dos solos é um dos principais problemas ambientais, visto que com o crescimento das áreas agrícolas, o aumento das áreas urbanas e a exploração dos recursos naturais tem causado alterações na cobertura vegetal (Silva et al., 2021; Vieira & Ribeiro, 2021), que possui influência sobre o processo de escoamento superficial, regime das águas e as características do solo (Santos & Oliveira, 2015).

O bioma caatinga, exclusivamente brasileiro, representa 6,83% do território brasileiro, com grande variedade de paisagens e riqueza biológica. É um dos biomas mais alterados pelas atividades antrópicas, nos últimos anos, em razão da substituição por áreas de agricultura, pecuária, mineração e remoção de madeira para produção de lenha e carvão, causando impactos expressivos no meio físico pela substituição das áreas naturais. Estima-se que, cerca de 80% dos seus ecossistemas naturais já tenham sido antropizados, levando a degradação do bioma (Silva et al., 2017; Silva et al., 2019; Caetano et al., 2022; Medeiros et al., 2022).

No semiárido, estudos do uso da terra e da vegetação estão sendo desenvolvidos, com o intuito de adquirir informações a partir de imagens de satélite e outros produtos do sensoriamento remoto (Chaves et al., 2013). Segundo Leite, Santos e Santos (2017), a tecnologia do sensoriamento remoto utilizando imagens de satélite, possibilita a análise e interpretação das mudanças ambientais oriundas de processos naturais e/ou antrópicos (Silva et al., 2018). Além disso, quando se trata de grandes áreas, o sensoriamento remoto se torna uma ferramenta indispensável para a descrição e caracterização do uso e cobertura do solo, por meio da determinação e estimativas de variáveis para cada ponto (pixel) com precisão e pelo rápido processamento de dados com custo relativamente baixo (Almeida et al., 2017; Araújo et al., 2019).

O monitoramento da vegetação através do sensoriamento remoto pode ser realizado através dos Índices de Vegetação (IVs). Esses índices objetivam enfatizar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e outros alvos da superfície terrestre (Andrade et al., 2018; Barros, Farias e Marinho, 2020), possibilitando monitorar e mensurar a distribuição espacial da vegetação e, conseqüentemente as formas de uso do solo (Peruzzo et al., 2019). O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1973), é considerado um dos principais indicadores para a análise da cobertura vegetal. Utiliza as faixas visível e infravermelha próxima do espectro eletromagnético para quantificar a densidade da vegetação em uma determinada área (Galvêncio, 2019).

O NDVI tem se mostrado bastante útil na estimativa de parâmetros biofísicos da vegetação e possui a habilidade para minimizar efeitos topográficos ao produzir uma escala linear de medida, variando entre -1 a $+1$ (mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal) (Janssen et al., 2018; Soares et al., 2020). Moraes Neto et al. (2018), apontam que obter informações sobre as classes da vegetação se torna um importante instrumento para a gestão e tomada de decisão. Neste sentido, o presente trabalho objetiva analisar a cobertura espaço-temporal da vegetação na Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova, Pernambuco, entre os anos de 1998, 2008 e 2018 utilizando o NDVI.

2. Material e Métodos

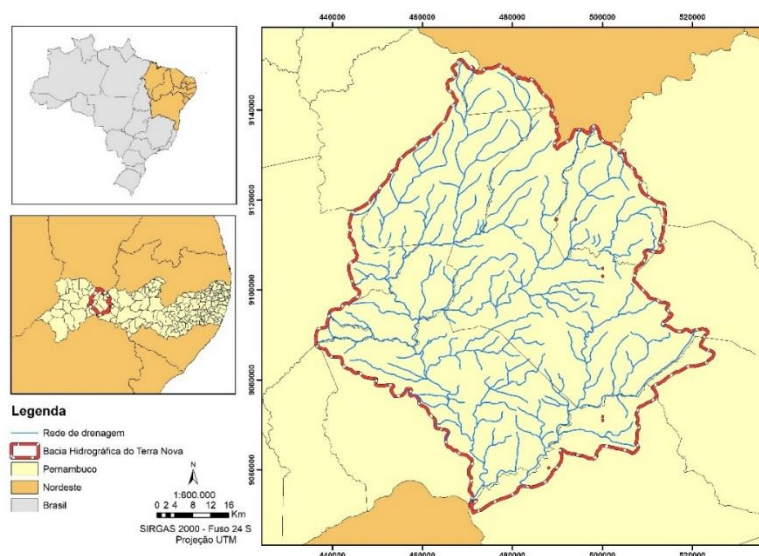
2.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Terra Nova está localizada no sertão Pernambucano, entre os paralelos $7^{\circ} 40' 20''$ e $8^{\circ} 36' 57''$, de latitude sul, e os meridianos $38^{\circ} 47' 04''$ e $39^{\circ} 35' 58''$, de longitude oeste. Limita-se ao norte com o estado do Ceará, ao sul com os Grupos de Bacias de Pequenos Rios Interiores 4 e 5 - GI4 (UP23) e GI5 (UP24) e o rio São Francisco, a leste com a bacia do rio Pajeú (UP9) e a oeste com a bacia do rio Brígida (UP11) (APAC, 2021).

A área de drenagem da bacia envolve 12 municípios dos quais 3 estão totalmente inseridos na bacia (Cedro, Salgueiro e Terra Nova), 2 possuem sede na bacia (Serrita e Verdejante) e 7 estão parcialmente inseridos (Belém do São Francisco, Cabrobó, Carnaubeira da Penha, Mirandiba, Orocó, São José do Belmonte

e Parnamirim) (APAC, 2021).

Figura 1 - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Terra Nova, Pernambuco



Fonte: Os autores

Localizada no Semiárido, o período chuvoso se inicia em janeiro e termina em abril, com precipitação média anual é de 431,8 mm. De acordo com o mapa de solos do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE) (EMBRAPA, 2000) na área de estudo dos reservatórios da bacia de Terra Nova, verificou-se uma grande variação de associações de solos, com predominância dos Planossolos, Neossolos e Luvisolos. Quanto aos usos e a ocupação do solo, os municípios que envolvem a bacia possuem uma economia predominantemente voltada à agricultura, com culturas diversificadas associadas à vegetação nativa e à pecuária.

2.2 Procedimentos metodológicos

No presente estudo foram utilizadas imagens do sensor TM para o satélite Landsat 5 e o sensor OLI para o satélite Landsat 8, para as órbitas e pontos 216-066, 217-065 e 217-066 obtidas através do *Earth Explorer*. Com o intuito de analisar a cobertura vegetal em um período de 10 em 10 anos, as imagens foram escolhidas levando em consideração o período seco, a menor quantidade possível de nuvens e a proximidade de datas entre as órbitas, sendo utilizadas as datas do mês de setembro dos anos de 1998, 2008 e 2018.

A princípio, foi realizada a composição colorida utilizando as bandas 1 a 7 para o Landsat 5, e 2 a 7 para o Landsat 8. As coordenadas das cenas foram reprojatadas para o hemisfério sul, já que as imagens provenientes do *Earth Explorer* vêm projetadas para o hemisfério norte. Em seguida, foi calculada a reflectância, definida como a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente. Para o Landsat 5, foi utilizada a seguinte equação, proposta por Allen et al., (2002) (Equação 1):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L \cdot \lambda_i}{K \lambda_i \cdot \cos(Z) \cdot d_r} \quad (1)$$

Em que, λ_{iL} corresponde à radiância espectral de cada banda, λ_{ik} corresponde a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera, Z é o ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol e a distância Terra-Sol (Oliveira et al., 2010).

Para o cálculo da reflectância nas imagens do sensor OLI (Equação 2), utilizou-se a equação proposta por Chander e Markham (2003):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{(Add_{ref,b} + Mult_{ref,b} \cdot ND_b)}{\cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

Em que, de acordo com Silva et al. (2016), $Add_{ref,b}$ e $Mult_{ref,b}$ representa o fator aditivo e multiplicativo da reflectância para cada banda disponíveis no arquivo MTL, respectivamente. ND represente os valores dos números digitais da imagem. O $\cos Z$ é o cosseno do ângulo zenital solar (equação 3) e d_r é a correção da excentricidade da órbita terrestre, conforme a equação 4:

$$\cos Z = \cos(90 - z) \quad (3)$$

$$d_r = \left(\frac{1}{d_{TS}}\right)^2 \quad (4)$$

Em que d_{TS} corresponde a distância terra sol para o dia da imagem, disponível no arquivo MTL.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) atua como um indicador sensível da vegetação, com valores que variam de -1 a $+1$, em que as áreas de vegetação apresentam valores positivos. Já para a corpos hídricos e nuvens apresentam valores negativos. É obtido por meio da seguinte equação:

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (5)$$

Em que ρ_{IV} e ρ_V correspondem, respectivamente, às bandas 4 e 3 do *Landsat 5 - TM*; e às bandas 5 e 4 do *Landsat 8 - OLI*.

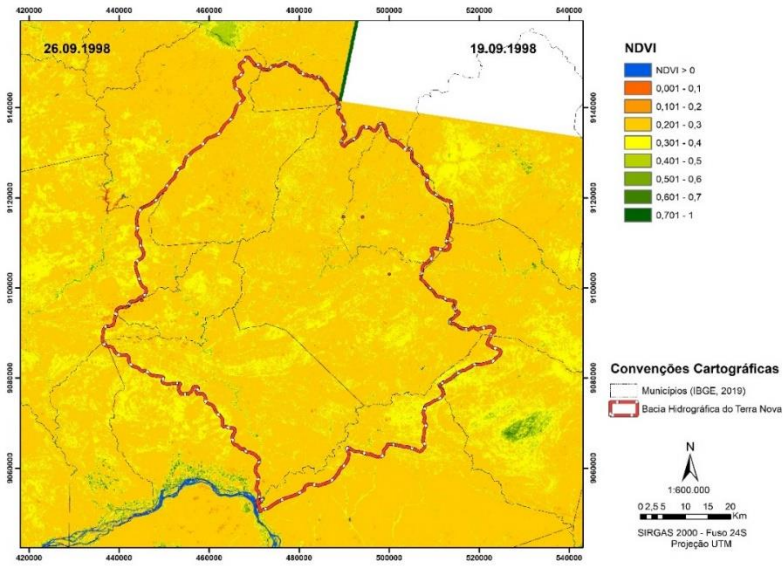
3. Resultados

Através das figuras 2, 3 e 4 pode-se observar os valores de NDVI para as datas de setembro dos anos de 1998, 2008 e 2018. Nascimento, Lima e Lima (2014), em estudo desenvolvido no semiárido paraibano, classificou as classes, no que se refere aos tipos de vegetação, como: 1,0 a 0,0 como corpos hídricos, 0,0 a 0,2 como áreas de solo exposto, 0,2 a 0,4 como vegetação arbustiva aberta, 0,4 a 0,6, como vegetação arbustiva semiaberta, 0,6 a 0,8 como vegetação arbustivo arbórea e de 0,8 a 1,0 como vegetação arbóreo arbustiva.

No presente estudo, os valores superiores à 0,501 encontram-se em áreas de maiores elevações, áreas de mata ciliar e áreas com agricultura irrigada. Os valores inferiores prevalecem na maior parte da Bacia Hidrográfica do Terra Nova, indicando a presença da vegetação Caatinga hiperxerófila, com espécies que apresentam perda total ou parcial da folhagem. Tôres Silveira, Martins e Oliveira (2022), ao realizarem uma análise espaço temporal entre os anos de 2013 e 2019 também para a Bacia Hidrográfica do Terra Nova, encontraram valores similares de NDVI.

A imagem de 1998 (Figura 2) apresentou um predomínio para valores de NDVI entre 0,2 e 0,4, classificadas como áreas de vegetação arbustiva aberta. Não foi possível identificar áreas que compreendem os corpos hídricos, como por exemplo, a área que compreende o reservatório Nilo Coelho, localizado na cidade de Terra Nova, importante para o abastecimento da região, para este ano, encontra-se sem água.

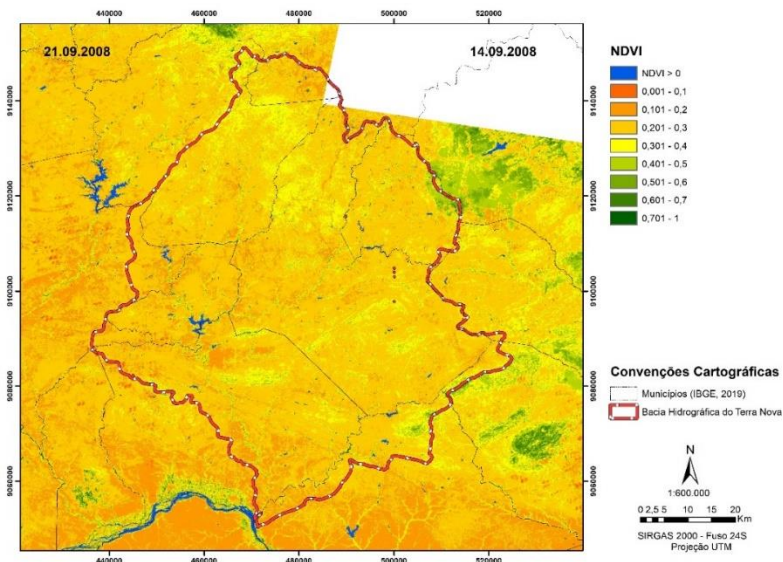
Figura 2 - NDVI da bacia hidrográfica do Terra Nova, Pernambuco, no mês de setembro de 1998



Fonte: Os autores (2022)

O ano de 2008 (Figura 3), demonstra uma redução quanto aos valores de NDVI, com intervalo entre 0,1 e 0,3, apresentando maiores áreas de solo exposto, além de áreas com vegetação arbustiva aberta. Neste ano, pode-se identificar o reservatório Nilo Coelho, situado na cidade de Terra Nova, já com água, além das áreas de matas ciliares e algumas áreas agrícolas, com valores superiores à 0,4.

Figura 3 - NDVI da bacia hidrográfica do Terra Nova, Pernambuco, no mês de setembro de 2008

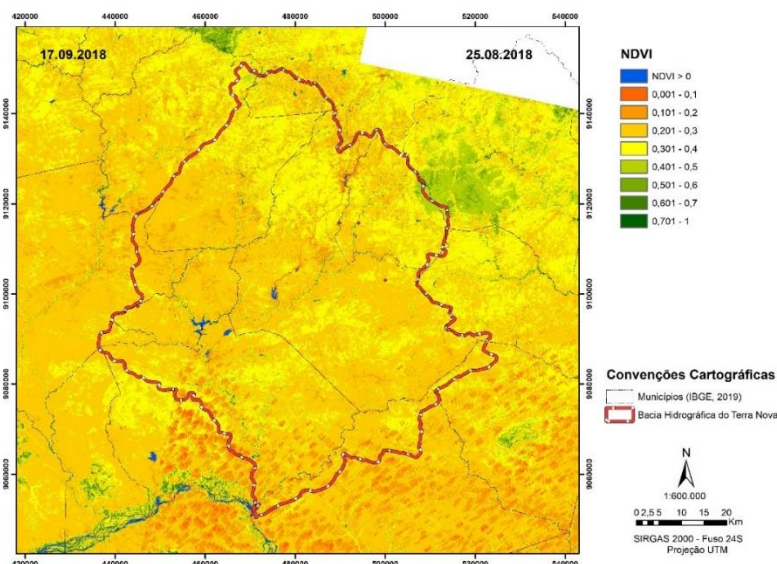


Fonte: Os autores (2022)

A imagem de 2018 (Figura 4) possui predomínio de valores de NDVI entre 0,2 e 0,4, similar ao ano de

1998, classificadas como áreas de vegetação arbustiva aberta.

Figura 04 – NDVI da bacia hidrográfica do Terra Nova, Pernambuco, no mês de setembro de 2018



Fonte: Os autores (2022)

Os valores acima de 0,4 são encontrados em áreas próximas aos reservatórios, indicando a presença de áreas de agricultura irrigada. Para este ano, pode-se identificar os reservatórios do Eixo Norte do PISF, como o reservatório Terra Nova, parcialmente cheio, além dos reservatórios de Serra do Livramento e Milagres, já abastecidos.

4. Discussão

Silva Junior et al. (2020), em estudo desenvolvido na Caatinga, na cidade de Serra Talhada, identificaram valores de NDVI entre -0,200 e > 0,860 obtendo altos valores para as áreas de mata ciliar, e baixos valores para corpos d'água. Almeida et al. (2018), em análise da variabilidade espacial do município de Caruaru, com o NDVI variando entre 0,24 a 0,30 para regiões com vegetação estressada ou área degradada pela ação antrópica, enquanto as áreas com NDVI maior que 0,44, são para regiões de vegetação, corroborando com os valores encontrados no presente estudo.

Damasceno, Pereira e Schuler (2020), em estudo desenvolvido na cidade de Arcoverde-PE, encontrou valores entre 0,401 e 0,800, demonstrando um aumento do porte da vegetação arbórea-arbustiva. Para áreas urbanas e seus entornos, foram identificados valores entre 0 e 0,200. Brito, Santos e Morais (2020), em análise da variação espacial e temporal do NDVI para os dias 30/05/13 e 03/09/13, no período seco na cidade de Petrolina, identificaram valores entre 0,3 e 0,4, com redução para 0,2 a 0,3, respectivamente. Nos dois meses analisados, destacam-se as áreas de agricultura irrigada ao sul do município, as quais possuíram predominância de NDVI maior que 0,5.

Caetano et al. (2022), em estudo no semiárido baiano, identificou um predomínio para valores de NDVI menores que 0,500, indicativo de áreas de vegetação de Caatinga Hiperxerófila, com espécies adaptadas a regiões semiárida, que apresentam espinhos, perda total ou parcial da folhagem. As áreas que apresentaram valores acima de 0,500 indicaram áreas com maior densidade vegetal e atividade fotossintética, podendo representar áreas de savana estépica ou a presença de áreas de agricultura irrigada.

Andrade et al. (2018) observou que são predominantes valores entre 0,17 e 0,41, assim, prevalecendo a presença de solo exposto e vegetação rala nos municípios de Exu e Moreilândia, localizados no estado de Pernambuco. Morais et al. (2011), em análise do NDVI para a cidade de Floresta, identificou valores entre -0,079 a 0,208 para solo exposto, isso em razão das características dos solos da região. Os Luvissoles, ou seja, solos rasos com presença de argilas de alta atividade, dificultando o crescimento de uma vegetação mais arbórea. Para vegetação rala, os valores de NDVI mantiveram-se entre 0,208 a 0,288, em áreas mais próximas ao Rio São Francisco. Nascimento, Lima e Lima (2014), em estudo desenvolvido no Alto do Paraíba, observaram o aumento da degradação das áreas de Caatinga, em razão do desenvolvimento das atividades agropecuárias desenvolvidas de maneiras insustentáveis ao longo dos anos, principalmente às margens dos corpos hídricos da região.

Chaves et al. (2013), enfatizaram que valores de NDVI abaixo de 0,4 para o período seco são mais compatíveis para respostas da vegetação de Caatinga Hiperxerófila, estando de acordo como as condições empregadas a área de estudo do reservatório (Silva Junior et al., 2020). Para Almeida et al. (2017), a região da Bacia Terra Nova apresenta vegetação estressada e área degradada pela ação antrópica. Além disso, Ferreira et al. (2012) observaram que a área possui vegetação seca, solo exposto e forte influência de atividades poluidoras de áreas urbanas. No presente estudo, pode-se perceber o aumento da presença de áreas irrigadas com o passar dos anos, conforme a disponibilidade hídrica foi crescendo, como no ano de 2008, com o reservatório Nilo Coelho, e pela construção dos reservatórios do PISF de Terra Nova, Serra do Livramento e Milagres já abastecidos no ano de 2018. Recomenda-se ainda estudos sobre as condições climáticas da região, já que a vegetação da Caatinga sofre influência das variações de precipitação.

5. Conclusões

O estudo mostrou a importância das ferramentas de sensoriamento remoto na análise e monitoramento da área de estudo, já que os resultados obtidos podem ser utilizados para a compreensão do comportamento da cobertura vegetal da região. A aplicação do NDVI demonstrou um predomínio das áreas de Caatinga em toda a área da bacia para os anos de 1998, 2008 e 2018, além do aumento da disponibilidade hídrica na região e, por consequência, o crescimento de áreas agrícolas em áreas próximas aos reservatórios.

Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

- Allen, R. et al. (2002). **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land)**. Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0.
- Almeida, D. N. O. de, Oliveira, L. M. M. de, Silva, C. B. da, Bezerra, U. A., Farias, M. de o., & Candeias, A. L. B. (2017). Análise das Bacias Hidrográficas do Rio Brígida, Rio Terra Nova e Grupo de Bacias de Pequenos Rios Interiores 9 (GI9) de Pernambuco usando Índices de Vegetação e de Umidade. **Anais do Congresso Brasileiro de Cartografia**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 711-715.
- Andrade, C. B., Oliveira, L. M. M. de, Omena, J. A. M., Gusmão, A. C. V. e L., & Rodrigues, D. F. B. (2018). Avaliação de Índices de vegetação e características fisiográficas no Sertão Pernambucano. **Revista**

Brasileira de Meio Ambiente, 4 (1), 97-107.

Araújo, C. L., Medeiros, J. J. B. de, Silva, I. A. da, Pinto, E. M. da C., & Silveira, B. D. A. da (2019). Utilização do NDVI para Análise dos Efeitos da Seca na Vegetação da Bacia Piranhas-Açu. **Anais do Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências**. Campina Grande, PB, Brasil, 1-9.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima (2022). **Bacias Hidrográficas - Rio Terra Nova**. Disponível em: <http://200.238.107.184/bacias-hidrograficas/40-bacias-hidrograficas/207-bacia-do-rio-terra-nova>. Acesso em: 05/07/2022.

Barros, A. S., Farias, L. M. de, & Marinho, J. L. A. (2020). Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetativa de Juazeiro Do Norte – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 13 (6), 2885-2895.

Caetano, R., Silva, T. B., Benfica, N. N., & Castro, D. R. de. (2022). Uso de índices espectrais na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido Baiano. **Revista de Geociências do Nordeste**, 8 (2), 28-43.

Chander, G., & Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 41 (11).

Chaves, I. de B., Francisco, P. R. M., Lima, E. R. V. de., Silva, B. B. da, Brandão, Z. N., & Chaves, L. H. G. (2013). Índices espectrais, diagnóstico da vegetação e da degradação da Caatinga da Bacia do Rio Taperoá-PB. Embrapa Algodão. **Relatório Técnico**. Disponível em < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/977328/indices-espectrais-diagnostico-davegetacao-e-da-degradacao-da-caatinga-da-bacia-do-rio-taperoa-pb> >. Acesso em: 19 nov. 2022.

Chaves, J. I., & Pinto Filho, J. L. de O. (2020). Ordenamento Territorial no Semiárido Brasileiro: Análise do Uso e Cobertura das Terras da Sub-Bacia Hidrográfica do Riacho Encanto/RN. **Revista Equador**, 9 (4), 253-274.

Costa, G. J. A., Ribeiro, K. V., & Albuquerque, E. L. S. (2020). Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na avaliação da cobertura vegetal do município de Regeneração, Estado do Piauí, Brasil. **Revista Geonordeste**, 2, 230-246.

Folharini, S. de O., & Souza, S. O. (2019). Mapeamento do Uso e Ocupação da Terra do Município de Petrolina (PE) – Médio Vale do Rio São Francisco Através do NDVI de Imagem LANDSAT 8 (OLI). **Revista Equador**, 8 (2), 489-502.

Galvêncio, J. D. Estimativa da temperatura da superfície com imagens obtidas com drones. **Journal Of Hyperspectral Remote Sensing**, 9 (6), 397-406.

Janssen, T. A. J., Ametsitsi, G. K. D., Collins, M., Adu-Bredu, S., Oliveras, I., Mitchard, E. T. A., & Veenendaal, E. M. (2018). Extending the baseline of tropical dry forest loss in Ghana (1984–2015) reveals drivers of major deforestation inside a protected area. **Biological Conservation**, 218, 163-172.

Leite, A. P., Santos, G. R., & Santos, J. É. O. (2017). Análise Temporal dos Índices de Vegetação NDVI e

SAVI na Estação Experimental de Itatinga utilizando Imagens LANDSAT 8. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, 6 (4), 606-623.

- Medeiros, R. L. B. de., Sousa, G. de M., Figueiredo, C. F. V. de, Formiga, A. C. de S., Oliveira, F. F. D. de, Oliveira, P. A. T. de, Nascimento, R. R. A., Monteiro, A. O., & Leite, A. C. N. (2022). Resposta espectral do comportamento do NDVI e NDWI diante de diferentes intensidades pluviométricas na cidade de Patos – PB. **Research Society and Development**. 11 (3), 1-14.
- Melo, E. T., Sales, M. C. L., & Oliveira, J. G. B. de. (2011). Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para Análise da Degradação Ambiental da Microbacia Hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, 23, 520-533.
- Moraes Neto, J. M., Pereira, J. S., Bezerra, A. E., Silva, M. J. da, & Sena, J. P. de O. (2018). Análise das Classes de Cobertura Vegetal no Município de Taperoá – Paraíba. **Anais do Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**. Maceió, AL, Brasil, 1-5.
- Nascimento, S. S., Lima, E. R. V. de, & Lima, P. P. S. de. (2014). Uso do NDVI na análise temporal da degradação da Caatinga na Subbacia do Alto do Paraíba. **Revista OKARA: Geografia em debate**, 8 (1), 72 -93.
- Oliveira, T. H. et al. Índice de umidade (NDWI) e análise espaço-temporal do albedo da superfície da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2010.
- Peruzzo, J. S., Pereira, M. C. dos S., Silva, L. D. R. da, Oliveira, B. S. de, & Silvino, G. da S. (2019). Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento ambiental da bacia do Alto Piranhas, Semiárido Nordeste. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, 7 (3), 28-37.
- Rouse, J. W. et al. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3, Washington, 1973. Proceedings... Whashington: NASA, 1, 309-317.
- Santos, F. de A. dos & Oliveira, W. A. S. (2015). Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para Avaliação da Cobertura Vegetal do Entorno do Açude Caldeirão, em Piripiri (PI), Brasil. **Revista Equador**, 4 (2), 114-127.
- Silva, B. B. da et al. (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, D. D. E., Moraes Neto, J. M. de, Rios, F. R. de A., Fernandes, M. de F., & Silva, J. M. da (2017). Análise das Classes de Cobertura Vegetal no Entorno da Bacia Hidráulica do Açude Jatobá II, em Princesa Isabel-PB. **Anais do Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, Belém, PA, Brasil, 1-5.
- Silva, D. A. de O., Alves, E. da S., Lopes, I., Santos, W. M. dos., & Silva, E. M. da. (2019). Análise e Mapeamento da Degradação por Sensoriamento Remoto na Estação Ecológica Raso da Catarina-Semiárido Brasileiro. **Revista Engenharia na Agricultura**, 27 (5), 420-430.

- Silva, T. J. R. D., Leite, J. C. A., Cavalcanti, A. K. G., Dantas, J. S., Sousa, F. Q. de., Nascimento, M. B. do, Medeiros, J. L. da S., Rocha Neto, O., Campos, G. M., & Santos, L. C. de A. (2021). Análise da Susceptibilidade à Erosão Hídrica em uma Bacia Hidrográfica do Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 14 (3), 1443-1457.
- Tôrres Silveira, N., Martins, L. D., Oliveira, T. H. (2022). Análise espaço temporal da cobertura vegetal da bacia hidrográfica de Terra Nova - Pernambuco. In: Fabrizio de Luiz Rosito Listo; Danielle Gomes da Silva Listo; Igor Gustavo Ferreira de Oliveira; Leonardo Cristiano da Silva Freitas. (Org.). *A Cartografia na Era Digital*. 1ed. Recife: Editora MapGeo - Mapeamentos e Soluções Geográficas, Empresa Jr., 71-80.
- Soares, J., Danelichen, V. H. de M., Pereira, O. A., & Martins, A. L. (2020). Estudo da dinâmica espaço-temporal do NDVI no município de Sorriso-MT. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 13 (2), 834-841.
- Ventura, S. J., Miranda, L. C., & Silva, E. V. da. (2019). Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) no médio curso do Rio Ceará. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, 10 (1), 252-261.
- Vieira, I. C. B., & Ribeiro, E. A. W. (2021). Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água no rio Itajaí-Açu, Santa Catarina. **Revista de Geografia**, 38 (2), 396-420.