ISSN: 2594-6153

Variação Temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI): Processamento de Imagens Landsat de 2000 a 2024 na Região Centro-Sul da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil

Rodrigo de Oliveira Campos; Miguel Petrere Jr.

Universidade Santa Cecília (UNISANTA) - PPG-CTA, Santos-SP, Brasil
E-mail: rodrigocam@gmail.com

Resumo: Este estudo investigou a variação temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*) na região Centro-Sul da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil, usando imagens de satélites Landsat entre os anos de 2000 e 2024. A análise revelou que a mediana do NDVI variou de 0,2139 a 0,2931 e mostrou um aumento numérico recente, nos últimos três anos. A tendência dos valores de NDVI indicou uma evidência de aumento na densidade da vegetação, com valores acima de 0,33, sugerindo um aumento da superfície vegetada, possivelmente devido a práticas agrícolas intensivas e/ou esforços de conservação. Estes resultados reforçam a eficácia do NDVI como ferramenta de monitoramento e gestão sustentável dos recursos naturais oferecendo uma base para futuros estudos e políticas de conservação na região.
Palavras-chave: sensoriamento remoto; análise temporal, gestão espacial

Temporal Variation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): Processing Landsat Images from 2000 to 2024 in the Central-Southern Region of Chapada Diamantina, Bahia, Brazil

Abstract: This study investigated the temporal variation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the Central-Southern region of Chapada Diamantina, Bahia, Brazil, using Landsat satellite images from 2000 to 2024. The analysis revealed that the NDVI median ranged from 0.2139 to 0.2931 and showed a recent numerical increase over the past three years. The trend in NDVI values indicated evidence of an increase in vegetation density, with values above 0.33, suggesting an expansion of vegetated areas, possibly due to intensive agricultural practices and/or conservation efforts. These results reinforce the effectiveness of NDVI as a tool for monitoring and sustainable management of natural resources, providing a foundation for future studies and conservation policies in the region.
Keywords: remote sensing; temporal analysis; spatial management

Introdução

A Chapada Diamantina, localizada no estado da Bahia, Brasil, constitui uma região turística de grande relevância ecológica, abrigando áreas de conservação da natureza e atividades agrícolas diversificadas. A gestão sustentável de espaços com estes atributos naturais e sociais requer uma compreensão detalhada das mudanças na cobertura vegetal ao longo do tempo, o que pode ser monitorado através do NDVI. O NDVI é a medida mais amplamente utilizada para quantificar as condições da vegetação a partir de imagens de sensoriamento remoto [1,2].

O presente estudo foi centrado uma abordagem exploratória para análise da variação temporal do NDVI em uma série de dados de imagens de satélites Landsat do U.S. Geological

ISSN: 2594-6153

Survey – USGS [3], abrangendo o período de 2000 a 2024. A região selecionada para essa análise foi o Centro-Sul da Chapada Diamantina, um local onde coexiste a conservação ambiental com a prática da agricultura, como nos municípios de Ibicoara-BA e Mucugê-BA. O objetivo principal deste estudo foi explorar as distribuições de frequência dos valores de NDVI para os diferentes anos e investigar as tendências de sua variação temporal em relação a estatísticas descritivas, como a mediana, intervalo interquartil e *thresholds* específicos, tal como valores de NDVI > 0,33, que são indicativos de diferentes condições de vegetação [4,5].

A abordagem utilizada visou destacar a validade de análises estatísticas descritivas do NDVI como ferramenta essencial para a gestão do espaço [1,2,5], auxiliando na tomada de decisões que promovam a sustentabilidade socioambiental da região.

Objetivos: O presente trabalho visa analisar as tendências temporais quanto aos valores de NDVI para a região Centro-Sul da Chapada Diamantina, Bahia, através do processamento de imagens de satélites Landsat entre os anos de 2000 e 2024.

Material e Métodos

Foi realizada um levantamento sistemático no acervo de imagens Landsat do U.S. Geological Survey [3,6], considerando: (a) a área de interesse no sul da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil; (b) o período de 2000 a 2024; e (c) a cobertura de nuvens de até 25%. As imagens selecionadas cobrem uma área aproximada de 31.110 km² (170 km x 183 km), com coordenadas geográficas entre -14.00808 e -11.96112 de latitude e -42.18663 e -40.09875 de longitude. O NDVI foi utilizado para avaliar a densidade da vegetação, calculado pela razão entre a banda do infravermelho próximo (NIR) e a banda visível vermelha (R) [1,5,9]:

NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)

Nos Landsat 4-7, o NDVI é calculado com a Banda 4 e Banda 3, e nos Landsat 8-9, com a Banda 5 e Banda 4. O NDVI distingue áreas vegetadas de não vegetadas, com valores negativos e zero indicando ausência de vegetação e valores positivos indicando vegetação. Foram usadas imagens do Landsat-5 TM para 2000 e do Landsat-8 OLI_TIRS e Landsat-9 OLI_TIRS para 2013-2024. Esses satélites orbitam a 705 km de altitude com um ciclo de repetição de 16 dias [6]. Análises estatísticas, histogramas da distribuição dos valores de NDVI e análise de *thresholds* (NDVI > 0,33) foram realizadas usando o software livre R [7,8].

Resultados

O processo de busca das imagens Landsat para a análise da variação do NDVI, ao longo do tempo na região Centro-Sul da Chapada, resultou na seleção de 7 imagens dos

ISSN: 2594-6153

satélites Landsat 5 (LT05), Landsat 8 (LC08) e Landsat 9 (LC09) (Tabela 1). A seleção foi resultado da busca por imagens Landsat disponíveis para a área de estudo com percentual de cobertura de nuvens de, no máximo, até 25%. Dado este critério, as datas de aquisição das imagens pelos sensores ocorreram somente nos meses de maio ou junho a cada ano analisado, quando a cobertura de nuvens variou entre o mínimo de 2% (2000) e o máximo de 23.13% (2018) (Tabela 1). Os valores de NDVI calculados para a região entre os anos analisados apresentaram mediana variando entre 0.2139, no ano de 2013, e 0.2931, em 2024 (Tabela 1). Os valores mínimos por ano ocorreram entre -0.7062 (2000) e -0.2698 (2011); enquanto que os máximos foram entre 0.777 (2000) e 0.9997 (2013 e 2018). O menor intervalo interquartil foi de 0.1088, obtido em 2000, e o maior foi de 0.1625, observado para o ano de 2024.

Tabela 1: Imagens Landsat resultantes da aplicação dos critérios de seleção, indicando os respectivos identificadores (ID), data da aquisição pelo sensor, cobertura de nuvens (%) e momentos estatísticos dos valores de NDVI. Tamanho amostral (n) por imagem entre $3.7*10^7$ e $4.0*10^7$.

Imagem Landsat (ID)	Data de aquisição	Nuvens (%)	NDVI			
			Mediana	Intervalo interquartil	Mínimo	Máximo
LT05_L2SP_217069	27-06-2000	2.00	0.2141	0.1088	-0.7062	0.7777
LC08_L2SP_217069	30-05-2013	21.46	0.2139	0.1230	-0.3836	0.9997
LC08_L2SP_217069	07-06-2016	17.37	0.2158	0.1143	-0.4242	0.9703
LC08_L2SP_217069	12-05-2018	23.13	0.2211	0.1242	-0.2943	0.9997
LC08_L2SP_217069	20-05-2021	4.19	0.2856	0.1184	-0.2698	0.9978
LC09_L2SP_217069	16-06-2022	7.79	0.2512	0.1182	-0.3008	0.9974
LC08_L2SP_217069	28-05-2024	12.59	0.2931	0.1625	-0.3126	0.9986

As distribuições de frequência observadas por classe de valores de NDVI foram inspecionadas quanto às respectivas variações temporais em relação ano de 2000 como referência (Figura 1).

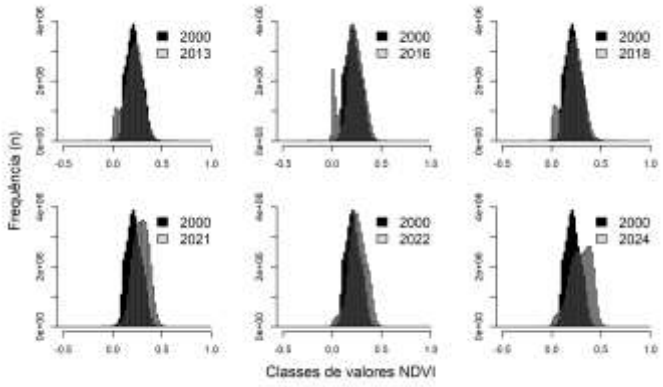


Figura 1: Histogramas de distribuição de frequência dos valores de NDVI por ano entre 2013 e 2024 em relação ao ano de referência de 2000 para as sete imagens selecionadas.

Para os anos de 2013, 2016 e 2018, as distribuições se mostraram razoavelmente similares ao ano usado como base, apresentando bastante sobreposição das classes de maior

ISSN: 2594-6153

frequência. Entretanto, dentre as diferenças observadas, notou-se a maior participação de valores entre 0 e 0.1 em relação ao ano 2000, que resultou em distribuições com a ocorrência de uma segunda moda à esquerda em cada um destes anos de 2013, 2016 e 2018. Com base nos valores de cobertura percentual de nuvens (Tabela 1), pode-se relacionar o aumento da participação das classes em torno de 0 e 0.1 ao maior percentual observado de cobertura de nuvens para estes casos (2013=21.46%, 2016=17.37%, 2018=23.13%). Para os anos de 2021, 2022 e 2024, foi verificada uma tendência de deslocamento da distribuição para a direita em relação ao ano 2000; evidenciada pela maior participação das classes superiores de valores de NDVI (Figura 1).

A tendência temporal do NDVI foi inspecionada com base na evolução dos valores da mediana observados ao longo dos anos (Figura 2-A). Os valores da mediana para cada ano apontou para um padrão de aumento numérico acentuado nos últimos três anos, alcançado um valor mediano de NDVI próximo a 0.3 para o ano de 2024. Além disso, foi analisada a participação relativa das classes de valores de NDVI acima de 0.33 (Figura 2-B) exibindo um padrão em conformidade com a da Figura 2-A, pois conforme a literatura, são representativos de vegetação caracterizada por atividades agrícolas e, a partir de 0.66, por ocorrência de vegetação densa ou florestas [2,9]. Assim como a mediana, a participação das classes de valores de NDVI acima de 0.33, também apresentou tendência de incremento nos últimos três anos.

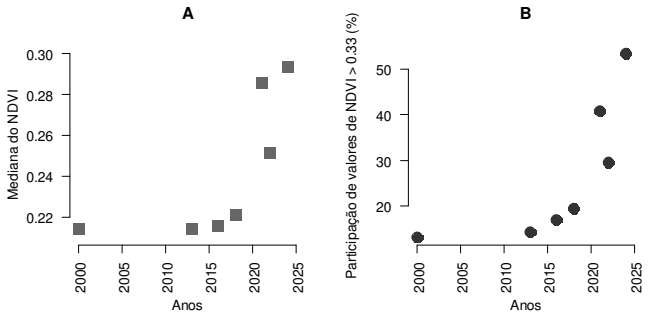


Figura 2: Diagrama de dispersão entre os anos e os valores medianos de NDVI (A) e entre os anos e a participação relativa (%) de valores de NDVI maiores que 0.33 (B).

Discussão

Assim, a análise de imagens de satélite se constitui numa ferramenta relevante e de extrema valia para a melhor compreensão dos processos atmosféricos e ambientais da região estudada, oferecendo recursos analíticos complementares para, por exemplo, o estudo das dinâmicas de produção agrícola frente às mudanças climáticas [1,2,5,9]. Os meses de aquisição das imagens disponíveis por parte dos sensores, resultantes da aplicação dos

ISSN: 2594-6153

critérios de seleção, evidenciam as maiores chances de céu aberto, ou baixa nebulosidade, nos meses de maio e junho para a área de estudo. Dados históricos de precipitação analisados para região entre 1960 e 2022 [10], corroboram este resultado uma vez que o principal período observado de baixa precipitação foi de maio a setembro.

A cena utilizada, que inclui a área de interesse é identificada pelo *path* 217 e *row* 069 [3]. Apesar de sua ampla extensão, essa abordagem exploratória sobre uma cena inteira permite uma comparação temporal padronizada e espacialmente estável ao longo dos anos de investigação. Porem, para análises sobre os atributos físicos espaciais e suas respectivas relações com os dados de reflectância, faz-se oportuno o refinamento da escala espacial, conforme as feições de vegetação de interesse, tais como áreas cultivadas e/ou áreas de florestas densas [5,9]. O uso do NDVI pode propiciar a aplicação de diversos modelos de regressão, com o uso de variáveis relacionadas, por exemplo, com a ocupação do solo, produtividade agrícola, hidrologia, topografia e clima [5]. Meneses-Tovar [11], analisando imagens de satélite no México, conferiu a validade do uso do NDVI para estudos de degradação ecossistêmica e apontou a necessidade de classificação das imagens através do relacionamento com as observações de campo quanto aos tipos de vegetação presentes em cada local. Karlsen e colaboradores [12] abordaram as limitações do uso de imagens de satélite devido à baixa disponibilidade de imagens livres de nuvens, com o objetivo de estimar a produtividade vegetal em um arquipélago ártico de Svalbard, na Noruega. Propuseram um método para superar esta questão através da análise conjunta de uma série temporal de dados de campo e dados de NDVI de imagens livres de nuvens para estimativas de pixel a pixel [12, 13].

Pettorelli e colaboradores [4], utilizando NDVI no estudo de ecologia animal, afirmaram que modelos climáticos podem ser usados para reconstruir padrões históricos na dinâmica da vegetação, além de antecipar os efeitos das futuras mudanças ambientais na biodiversidade.

Conclusões

Os resultados obtidos forneceram uma compreensão melhor da variação temporal do NDVI na região Centro-Sul da Chapada Diamantina entre 2000 e 2024. A análise das distribuições de frequência do NDVI revelou indícios de mudanças na cobertura vegetal ao longo do período estudado, exibidas pelo deslocamento da mediana dos valores de NDVI e pelo aumento da participação das classes superiores de NDVI, particularmente nos últimos três anos. Esses resultados sugerem uma tendência de recuperação ou intensificação da área

ISSN: 2594-6153

vegetada na região. A utilização de imagens Landsat, com critérios rigorosos de seleção para minimizar a interferência de nuvens, permitiu a obtenção de dados consistentes e representativos para a análise. Além disso, a aplicação do NDVI como ferramenta de monitoramento pode ser útil na distinção entre áreas vegetadas e não vegetadas. A tendência de incremento nos valores de NDVI, especialmente nas classes acima de 0,33, indica uma possível intensificação das atividades agrícolas ou um aumento na densidade da vegetação natural, fatores que podem estar contribuindo para uma mudança positiva no uso e ocupação do solo na região. Esses resultados destacam a importância do NDVI para o monitoramento ambiental e a gestão sustentável dos recursos naturais na Chapada Diamantina. Estudos futuros, combinados com técnicas avançadas de processamento de imagens, poderão aprofundar a compreensão das mudanças na cobertura vegetal e fornecer subsídios valiosos para políticas de conservação e desenvolvimento sustentável.

Agradecimentos: Os autores agradecem o apoio fornecido pela UNISANTA, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pela bolsa outorgada ao primeiro autor. Agradecem também aos amigos produtores rurais, guias locais e gestores públicos dos municípios de Ibicoara - BA, Mucugê - BA e Barra da Estiva - BA.

Referências

1. Sultana, S.R., Amjed Ali, Ashfaq Ahmad, MuhammadMubeen, M.Zia-Ul-Haq, Shakeel Ahmad, Sezai Ercisli, and Hawa Z. E. Jaafar (2014). Normalized Difference Vegetation Index as a Tool for Wheat Yield Estimation: A Case Study from Faisalabad, Pakistan. Hindawi Publishing Corporation. The Scientific World Journal. Volume 2014, Article ID 725326, 8 pages. http://dx.doi.org/10.1155/2014/725326
2. Zhang, C.; Zhengwei Yang, Liping Di, Eugene G. Yu, Bei Zhang, Weiguo Han, Li Lin & Liying Guo. (2022). Near-real-time MODIS-derived vegetation index data products and online services for CONUS based on NASA LANCE. Scientific Data. (2022) 9:477.
3. U.S. Geological Survey. Landsat Mission. 2019. Disponível em: https://landsat.usgs.gov.
4. Pettorelli, N., Sadie Ryan, Thomas Mueller, Nils Bunnefeld, Bogumi8a J¸ edrzejewska, Mauricio Lima, Kyrre Kausrud (2011). The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): unforeseen successes in animal ecology. Clim Res Vol. 46: 15–27, 2011.
5. Peng, L.; Wan, Y.; Shi, H.; Anwaier, A.; Shi, Q. Influence of Climate, Topography, and Hydrology on Vegetation Distribution Patterns—Oasis in the Taklamakan Desert Hinterland. Remote Sens. **2023**, 15, 5299. https://doi.org/10.3390/ rs15225299
6. Department of the Interior U.S. Geological Survey USGS (2022). Landsat 9 Data Users Handbook. 115 pp.
7. R Core Team (2023). _R: A Language and Environment for Statistical Computing_. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
8. Quinn, G.; Keough, M. 2002. Experimental Design and Data Analysis for Biologist.

ISSN: 2594-6153

9. Tilahun, A. (2015). Application of GIS for Calculate Normalize Difference Vegetation Index (NDVI) using LANDSAT MSS, TM, ETM+ and OLI_TIRS in Kilite Awulalo, Tigray State, Ethiopia. Journal of Environment and Earth Science. Vol.5, No.3, 2015.
10. Campos, R.O.; Ávila, A.M.H.,Silva, T.S., Petrere, M. 2023. Análise exploratória e ajuste de modelo linear geral aos dados históricos de temperatura e precipitação para a região agrícola ao sul do Parque Nacional da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. Anais do Encontro Nacional de Pós-graduação – ENPG. Vol 7, No 1 (2023).
11. Meneses-Tovar, C.L. 2011. NDVI as indicator of degradation .Unasylva 238, Vol. 62, 2011/2.
12. Karlsen, S.R., Helen B Anderson,Ren´ e van der Wal and Brage Bremset Hansen (2018). A new NDVI measure that overcomes data sparsity in cloud-covered regions predicts annual variation in ground-based estimates of high arctic plant productivity. Environ. Res. Lett. 13 (2018) 025011.
13. Tang, Q., Taikan Oki (2007). Daily NDVI Relationship to Cloud Cover. American Meteorological Society. DOI:10.1175/JAM2468.1