









## ESTIMATIVA DA TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO ACUMULADA POR KRIGAGEM COM BASE EM NDVI E NDWI PARA A CAATINGA EM PERNAMBUCO

Francisco Gustavo da Silva<sup>1</sup>, Hozana Francielle do Nascimento Borges<sup>1</sup>, Miriam Lecília  
Farias Ribeiro<sup>1</sup>, Ivanildo Batista da Silva Júnior<sup>1</sup>, Kleber Napoleão Nunes de Oliveira  
Barros<sup>1</sup>, Paulo Jose Duarte Neto<sup>1</sup>

1 Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. E-mail: fr.gustavosilva.098@gmail.com; hozana\_francielle@hotmail.com; miriam.ribeiro@upe.br; ivanildo.batista13@gmail.com; kleber.barros@ufrpe.br; paulo.duartent@ufrpe.br

Autor correspondente: Francisco Gustavo da Silva. E-mail: fr.gustavosilva.098@gmail.com.

### RESUMO

Quando uma propriedade varia de um local para outro com algum grau de organização ou continuidade, expressa pela dependência espacial, é necessário abandonar a estatística clássica e usar uma estatística relativamente nova: a geoestatística. A geoestatística oferece ferramentas para compreender a aparente aleatoriedade dos dados que podem ter uma estrutura espacial subjacente. Isso permite estabelecer uma função de correlação espacial. As análises geoestatísticas dos dados permitiram a construção de mapas e a estimativa da dependência espacial da amostra. Além disso, serão feitos semivariogramas e seus ajustes e a interpolação de dados por krigagem. O Objetivo deste trabalho foi comparar a eficiência dos índices de vegetação e de água para estimativas geoestatísticas de temperatura e precipitação na Caatinga no Estado de Pernambuco. Os principais resultados mostraram que a combinação dos métodos forma um conjunto de ferramentas poderosas para o monitoramento de ambientes prioritários para a conservação.

**Palavras-chave:** Dependência espacial; geoestatística; índices de vegetação e de água

### *ESTIMATE OF TEMPERATURE AND ACCUMULATED PRECIPITATION BY KRIGING BASED ON NDVI AND NDWI FOR THE CAATINGA IN PERNAMBUCO, BRAZIL*

#### ABSTRACT

*When a property varies from one place to another with some degree of organization or continuity, expressed by spatial dependence, it is necessary to abandon classical statistics and use a relatively new statistic: geostatistics. Geostatistics offers tools to understand the apparent randomness of data that may have an underlying spatial structure. This allows establishing a spatial correlation function. The geostatistical analyzes of the data allowed the construction of maps and the estimation of the spatial dependence of the sample. In addition, semivariograms and their adjustments and data interpolation by kriging will be made. The objective of this work was to compare the efficiency of vegetation and water indices for geostatistical estimates of temperature and precipitation in the Caatinga in the State of Pernambuco. The main results showed that the combination of methods form a set of powerful tools for monitoring priority environments for conservation.*

**Key words:** *Spatial dependence; geostatistics, vegetation and water indices*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



### INTRODUÇÃO

No Brasil, segundo Sano *et al.* (2007), existem 6 biomas distintos: a Amazônia, o Cerrado, a Mata Atlântica, a Caatinga, os Pampas e o Pantanal. Todos esses biomas se estendem além das fronteiras do país, exceto a Caatinga, que é exclusiva do território brasileiro. Ela constitui-se como o principal ecossistema da região Nordeste do Brasil, cobrindo 54,53% dos 1.548.672 km<sup>2</sup> da área da região (IBGE, 2009). Essa vegetação localizada em uma região de clima semiárido, o que é uma característica importante que define a natureza dessa região. A caatinga tem vários eventos de variação extrema de condições climáticas (muito quente e muito frio) e contém irregularidade de chuvas. Além disso, há o fator da mudança climática que afeta diretamente o clima da Caatinga.

Como forma de monitorar ambientes como esse, tem-se crescido o número de estudos utilizando sensoriamento remoto e outros usos generalizados de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs). Um dos possíveis métodos é por meio da Diferença Normalizada do Índice de Vegetação (NDVI) (Myneni *et al.*, 1997) e Diferença Normalizada do Índice de Vegetação (NDWI) proposto por Gao (1996), que segundo McFeeters (1997), têm a mesma ideia da Diferença citada anteriormente, ambos utilizando imagens de satélite, podendo ser usados para realizar levantamentos de dados espaciais.

Outra forma bastante eficiente e conhecida hoje em dia, é a geoestatística, por meio do método da krigagem proposto por Krige (1951) e popularizado por Matheron (1960). A geoestatística utiliza a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo. Ele é um estimador ótimo que não apresenta tendência e tem variância mínima (Carvalho & Assad, 2005). Na análise exploratória dos dados espaciais, o método de krigagem ordinária, exige que não haja tendência (ou deriva) nos dados. Essa técnica interpola valores com as condições de estimativa sem tendenciosidade e com desvios mínimos em relação aos valores conhecidos (Grego & Vieira, 2005).

O objetivo deste trabalho é apresentar, por meio dos índices de vegetação, água e interpolação por krigagem, a escolha do melhor modelo matemático para a representação de estudos espaciais, as relações entre os níveis de vegetação e água superficial com temperatura e precipitação.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Área de Estudo

Os dados utilizados foram obtidos em uma área de Caatinga em Pernambuco com 81.463 km<sup>2</sup>, aproximadamente 83% da área total do estado. O termo "caatinga" tem origem na língua tupi-guarani, onde "caa" significa mata e "tinga" significa branca. Portanto, caatinga significa "mata branca", o que descreve a paisagem durante a estiagem quando a vegetação perde suas folhas e fica com um aspecto seco e sem vida (Alves, 2007).

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

O banco de dados foi obtido gratuitamente nos portais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), disponível em <https://portal.inmet.gov.br/> e <https://www.apac.pe.gov.br/>, respectivamente. O banco de dados obtido e refinado, entre janeiro de 2014 e dezembro de 2019, contém informações mensais de 89 estações meteorológicas, para todo o Nordeste brasileiro.

### **Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI)**

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) oferece a melhor resposta aos efeitos da irregularidade topográfica, identificando superfícies com e sem vegetação por meio de seus valores (Rosendo & Rosa, 2007). Foi calculado utilizando a Equação 1.

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (1)$$

Em que: NIR é o infravermelho próximo e RED significa vermelho.

O Índice de Diferença Normalizada de Água (NDWI) proposto por Gao (1996), está relacionado ao conteúdo de água presente nas folhas, onde valores positivos são associados à vegetação verde e valores negativos à vegetação seca (Oliveira *et al.*, 2010). O NDWI foi calculado conforme a Equação 2.

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (2)$$

Em que: Green é verde e NIR é o infravermelho próximo.

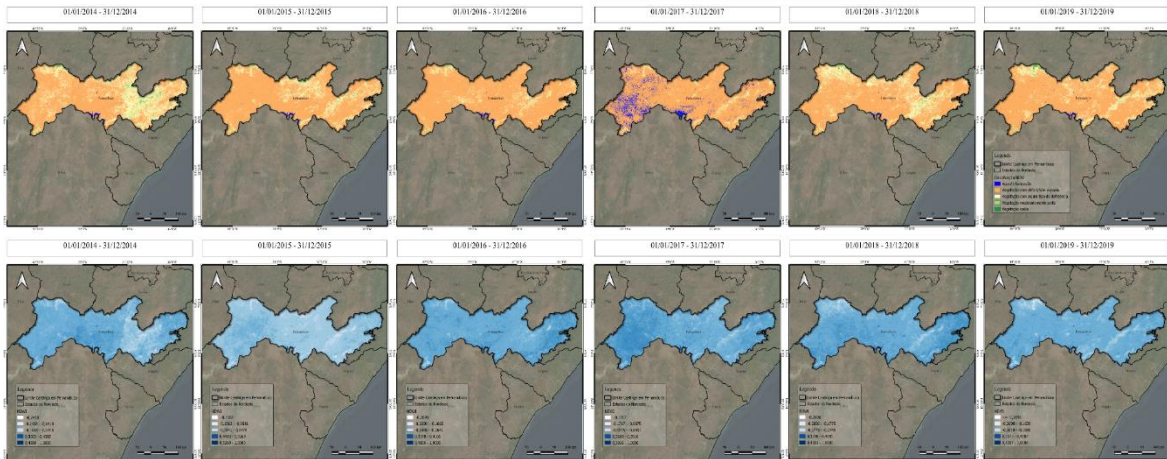
As Equações 1 e 2 foram aplicadas aos produtos Banda B5, B4 e B3, equivalentes às bandas do Infravermelho próximo, Vermelho e Verde, respectivamente, do satélite *LANDSAT 7*, que possui resolução espacial de 30 metros e temporal de 16 dias (USGS). Foram geradas seis imagens reduzidas com base na média dos pixels para cada índice por ano.

### **Análise Geoestatística**

Os dados foram interpolados usando as informações de precipitação acumulada e temperatura contidas nas estações obtidas. Posteriormente seus valores foram recortados e extraídos somente para a Caatinga no estado de Pernambuco, e correlacionados com os índices das diferenças normalizadas, para mostrar suas dinâmicas em relação a esses.

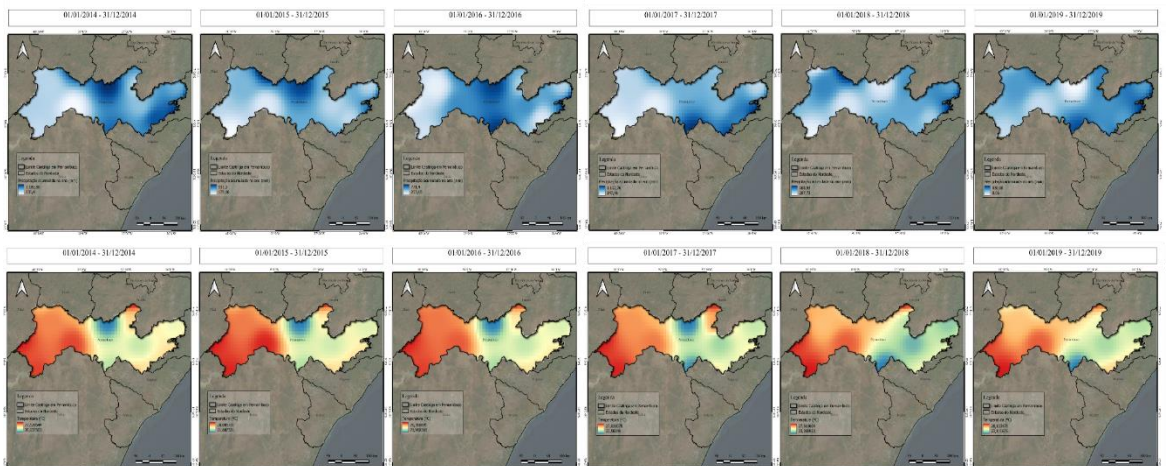
## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Resultados preliminares mostraram que através da classificação de imagens do *LANDSAT 7*, foi possível quantificar o uso e averiguar a cobertura da área de estudo de 2014 a 2019 (Figura 1).



**Figura 1.** NDVI e NDWI para a Caatinga no estado de Pernambuco nos anos 2014 a 2019

É perceptível notar a variação da vegetação e água disponível ao longo dos anos. Essas variações também são perceptíveis, na interpolação dos valores de precipitação e temperatura (Figura 2), onde as distinções dos valores distribuídas ao longo da área de estudo, têm implicações diretamente relacionadas aos índices, que de forma empírica sabemos que acontecem, pois em ambientes semiáridos, variações nos índices biofísicos podem causar alterações em parâmetros meteorológicos (Wanderley *et al.*, 2017). Os índices mostram a importância no monitoramento, principalmente para a região pois destacam as variações que é de suma importância para o monitoramento desses ambientes. Essas alterações evidenciadas, ao longo dos anos, mostram a vulnerabilidade da vegetação, que desencadeia uma série de implicações, na disponibilidade de água, e conseqüentemente na temperatura e precipitação da região (Bezerra *et al.*, 2020; Wanderley *et al.*, 2017).



**Figura 2.** Interpolação dos valores de precipitação acumulada e temperatura, pelo método de krigagem nos anos 2014 a 2019

## CONCLUSÃO

Os índices de diferenças normalizadas, combinados com os métodos geostatísticos, demonstraram ser eficientes para o monitoramento visual preliminar de áreas de conservação importantes. É importante ressaltar que será feito mais um refinamento na base de dados, pois a

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

ausência de valores pode afetar negativamente a qualidade e validade da análise estatística, reduzindo a representatividade dos resultados e prejudicando a capacidade de generalização das conclusões para uma população maior. Portanto, é fundamental aplicar procedimentos adequados para minimizar a ocorrência de dados ausentes.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, J. J. A. Geocologia da caatinga no semi-árido do Nordeste brasileiro. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 2, n. 1, p.58-71, 2007. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/climatologia/article/view/266>. Acesso em: 10 Jul. 2023.
- Bezerra, A. C.; Silva, J. L. B.; Silva, D. A. O.; Batista, P. H. D. Monitoramento espaço-temporal da detecção de mudanças em vegetação de Caatinga por sensoriamento remoto no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 1, p.286-301, 2020. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p286-301>.
- Carvalho, J. R. P.; Assad, E. D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 377-384, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162005000200011>.
- Gao, B. C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p.257-266, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3).
- Grego, C. R.; Vieira, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000200002>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Manual técnico de Geomorfologia**. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 178p. (IBGE. Manuais Técnicos em Geociências, 5). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>. Acesso em: 30 Jun. 2023.
- Krige, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the witwatersrand. **Journal of the Chemical Metallurgy & Mining Society of South Africa**, v. 52, n. 6, p. 151-163, 1951. Disponível em: [https://journals.co.za/doi/pdf/10.10520/AJA0038223X\\_4792](https://journals.co.za/doi/pdf/10.10520/AJA0038223X_4792). Acesso em: 12 Jul. 2023.
- Matheron, G. **Les variables régionalisées et leur estimation**. Paris: Masson, 1965. 306p.
- McFeeters, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, p.1425-1432, 1996. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
- Myneni, R. B.; Hall, F. G.; Sellers, P. J.; Marshak, A. L. The interpretation of spectral vegetation indexes. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p.481-486, 1995. <https://doi.org/10.1109/36.377948>.
- Oliveira, T.H.; Machado, C. C. C.; Oliveira, J.S.S.; Galvêncio, J. D.; Pimentel, R. M. M.; Silva, B. B.; Índice de umidade (NDWI) e espaço-temporal do albedo da superfície da Bacia Hidrográfica do rio Moxotó – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, n. 3, p.55-69, 2010. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20100009>.
- QGIS Development Team (2021). **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <https://www.qgis.org>. Acesso em: 09 Mai. 2023.
- R Core Team. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023.
- Rosendo, S. J., Rosa, R. Análise da detecção de mudanças no uso da terra e cobertura vegetal utilizando a diferença de índices de vegetação. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p.4209-4216. Disponível em: <http://mar.tecnico.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.31.15.14/doc/4209-4216.pdf>. Acesso em: 30 Jun. 2023.
- Sano, E. E.; Rosa, R.; Brito, J. L. S.; Ferreira, L. G. **Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado: estratégias e resultados**. 2007. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 33p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 190). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/570887/1/doc190.pdf>. Acesso em: 22 Jun. 2023.
- Wanderley, L. S. A.; Nóbrega, R. S.; Moreira, E. B.; Lucena, J. A. Variação dos Índices de Vegetação da Caatinga no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Taperoá. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 4988-5000, 2017. <https://doi.org/10.20396/sbfga.v1i2017.2207>.