



INFLUÊNCIA DO ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVAS NA VEGETAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PAJEÚ POR SENSORIAMENTO REMOTO

Eduardo Gonçalves Patriota¹, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7473-9359>

¹Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, Brasil*

Artigo recebido em 17/05/2023 e aceito em 26/03/2024

RESUMO

A precipitação é um dos principais componentes do ciclo hidrológico e possui forte influência nas características terrestres, como a vegetação. A análise da relação entre a variabilidade da precipitação e o vigor da vegetação por meio do sensoriamento remoto desempenha um papel fundamental na compreensão dos impactos das mudanças climáticas na dinâmica dos ecossistemas. Partindo disso, o presente artigo objetiva realizar a quantificação do Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) para a Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú a partir de dados de precipitação do grupo CHIRPS, bem como verificar a resposta da vegetação a essas anomalias a partir do Índice de Vegetação Melhorado (EVI-2), quantificado com dados de reflectância dos produtos MOD09Q1 (satélite Terra) e MYD09Q1 (satélite Aqua). A correlação amostral entre IAC e EVI-2 obteve coeficiente de correlação $r = 0,77$, indicando que o aumento de IAC (crescimento da precipitação) contribui diretamente para o aumento do vigor vegetativo. Porém, a análise de regressão simples obteve um $R^2 = 0,58$, indicando que a relação entre as variáveis não é linear e que a vegetação recebe influência de outros fatores como a temperatura e a umidade relativa do ar. Por fim, o seguinte trabalho traz subsídios que comprovam a eficácia do IAC na análise de anomalias de chuvas, bem como do EVI-2 na busca pela variabilidade da saúde da vegetação e da dinâmica terrestre.

Palavras-chave: precipitação; Google Earth Engine; CHIRPS; EVI-2.

INFLUENCE OF THE RAINFALL ANOMALY INDEX ON VEGETATION IN THE PAJEÚ RIVER BASIN WATERSHED THROUGH REMOTE SENSING

ABSTRACT

Precipitation is one of the main components of the hydrological cycle and has a strong influence on terrestrial features, such as vegetation. The analysis of the relationship between precipitation variability and vegetation vigor through remote sensing plays a fundamental role in understanding the impacts of climate change on ecosystem dynamics. Based on this, the present article aims to quantify the Rainfall Anomaly Index (RAI) for the Pajeú River Watershed using precipitation data from the CHIRPS group, as well as to examine the

* Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba (UFPB). E-mail: edugoncalvespatriota@gmail.com

vegetation response to these anomalies through the Enhanced Vegetation Index (EVI-2), quantified using reflectance data from the MOD09Q1 (Terra satellite) and MYD09Q1 (Aqua satellite) products. The sample correlation between RAI and EVI-2 yielded a correlation coefficient of $r = 0.77$, indicating that an increase in RAI (precipitation growth) directly contributes to increased vegetative vigor. However, the simple regression analysis yielded an $R^2 = 0.58$, indicating that the relationship between the variables is not linear and that vegetation is influenced by other factors such as temperature and relative humidity. Finally, this study provides evidence of the effectiveness of RAI in analyzing rainfall anomalies, as well as EVI-2 in exploring vegetation health variability and terrestrial dynamics.

Keywords: precipitation; Google Earth Engine; CHIRPS; EVI-2.

INFLUENCIA DEL ÍNDICE DE ANOMALÍA DE LLUVIAS EM LA VEGETACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO PAJEÚ MEDIANTE TELEDETECCIÓN

RESUMEN

La precipitación es uno de los principales componentes del ciclo hidrológico y tiene una fuerte influencia en las características terrestres, como la vegetación. El análisis de la relación entre la variabilidad de la precipitación y la vitalidad de la vegetación a través de la teledetección juega un papel fundamental en la comprensión de los impactos del cambio climático en la dinámica de los ecosistemas. Basándose en esto, el presente artículo tiene como objetivo cuantificar el Índice de Anomalía de Lluvias (IAL) para la Cuenca del Río Pajeú utilizando datos de precipitación del grupo CHIRPS, así como examinar la respuesta de la vegetación a estas anomalías a través del Índice de Vegetación Mejorado (EVI-2), cuantificado utilizando datos de reflectancia de los productos MOD09Q1 (satélite Terra) y MYD09Q1 (satélite Aqua). La correlación muestral entre el IAL y el EVI-2 arrojó un coeficiente de correlación de $r = 0.77$, lo que indica que un aumento en el IAL (crecimiento de la precipitación) contribuye directamente al aumento de la vitalidad vegetativa. Sin embargo, el análisis de regresión simple obtuvo un $R^2 = 0.58$, lo que indica que la relación entre las variables no es lineal y que la vegetación está influenciada por otros factores como la temperatura y la humedad relativa. Finalmente, este estudio proporciona evidencia de la efectividad del IAL en el análisis de anomalías de lluvia, así como del EVI-2 en la exploración de la variabilidad de la salud vegetal y la dinámica terrestre.

Palabras clave: precipitación; Google Earth Engine; CHIRPS; EVI-2.

INTRODUÇÃO

A precipitação é um dos principais componentes do ciclo hidrológico e influencia diretamente os recursos hídricos, a vegetação, a agricultura e os padrões climáticos locais e globais. Além disso, é essencial para o abastecimento de água, para a gestão de recursos hídricos, previsão de enchentes e secas e tomada de decisões em agricultura e planejamento urbano.

No contexto das alterações climáticas, observa-se o aumento nas ocorrências de secas ou o aumento na intensidade das chuvas em várias regiões do globo, que pode reduzir ou aumentar a disponibilidade hídrica, afetando assim as atividades humanas (BATES et al., 2008; MARENGO et al., 2010; GLOOR et al., 2015).

Recentemente, estudos têm enfatizado a importância de investigar as mudanças nos padrões de precipitação em escala regional e global, bem como suas interações com outros componentes, como a vegetação. Pesquisas como as de Trenberth et al. (2014) têm analisado as tendências de precipitação em diferentes regiões do mundo, destacando a necessidade de monitoramento contínuo para entender as variabilidades e os desvios em relação às médias históricas.

A análise da relação entre a variabilidade da precipitação e a resposta da vegetação desempenha um papel fundamental na compreensão dos impactos das mudanças climáticas na dinâmica dos ecossistemas. O Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) é uma métrica amplamente utilizada para quantificar desvios na quantidade de chuvas em relação à média histórica. Por outro lado, o sensoriamento remoto fornece uma abordagem eficaz para monitorar a vegetação de forma contínua e em larga escala.

Pesquisas anteriores têm destacado a importância do IAC na compreensão dos impactos da variabilidade climática na vegetação (HARGREAVES et al., 2017). Além disso, estudos recentes têm demonstrado a eficácia do sensoriamento remoto na monitorização da vegetação em diferentes escalas espaciais e temporais (ASNER et al., 2016; ZHAO et al., 2015).

No entanto, apesar do crescente interesse nessas áreas de pesquisa, são escassos os estudos que investigam a relação entre o IAC e a resposta da vegetação na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú. Compreender essa relação é de extrema importância para o manejo adequado dos recursos hídricos e para o desenvolvimento de estratégias de adaptação às mudanças climáticas nessa região.

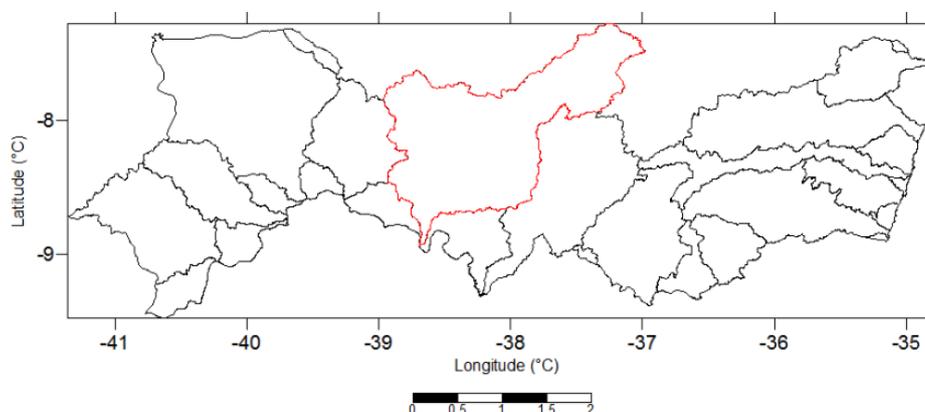
Portanto, este estudo tem como objetivo preencher essa lacuna de conhecimento, investigando a influência do Índice de Anomalia de Chuvas na vegetação da Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú por meio de análises de sensoriamento remoto. Ao combinar dados de precipitação e índice de vegetação obtido de imagens de satélite, espera-se identificar os padrões e as respostas da vegetação às variações na quantidade de chuvas, bem como analisar estatisticamente essa relação por correlação amostral e obtenção de modelo de regressão linear, fornecendo inferências importantes para a gestão dos recursos hídricos e a conservação dos ecossistemas da região.

METODOLOGIA

Área de estudo

A região a ser analisada no presente artigo é a bacia hidrográfica do Rio Pajeú (Figura 1), localizada entre as coordenadas 07°16'20" e 08°56'01" de latitude sul, e 36°59'00" e 38°57'45" de longitude oeste, especificamente nas mesorregiões do Sertão Pernambucano e do São Francisco. Possui uma área de 16.685,63 Km², o que corresponde a 16,9% da área total do estado de Pernambuco.

Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do rio Pajeú.



Segundo a Agência Pernambucana de Águas e Climas (2019), a bacia possui uma área de drenagem que engloba 27 municípios e corresponde a maior bacia hidrográfica do estado.

Do ponto de vista climático, a bacia possui uma grande irregularidade em suas precipitações e apresenta o período entre os meses de janeiro e abril como o período mais chuvoso (PERNAMBUCO, 2006). Ainda de acordo com o Atlas de Bacias Hidrográficas de Pernambuco (2006), as chuvas que ocorrem no local são decorrentes de frentes frias, presentes na zona de convergência intertropical, sendo esse sistema o principal provedor de chuvas no semiárido do estado. A temperatura média anual varia entre 24°C e 28°C, com variações sazonais significativas. Durante o verão, as temperaturas podem ultrapassar os 40°C, enquanto no inverno, especialmente durante a noite, as temperaturas podem cair para cerca de 10°C. A região também é conhecida pela alta incidência de radiação solar ao longo do ano.

Sendo uma bacia contemplada com o bioma Caatinga, possui uma vegetação adaptada às condições de clima semiárido, com árvores e arbustos de pequeno porte, espinhosos e com folhas

grossas que ajudam a reduzir a perda de água (SILVA *et al.*, 2013). Também é comum encontrar cactos, bromélias e outras plantas xerófitas, que são adaptadas à escassez de água.

Fonte de dados

Para a análise da precipitação realizada neste estudo, foi utilizado o conjunto de dados diários provenientes do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS)*, que incorpora imagens de satélite e dados de campo para todo o globo terrestre com mais de 30 anos, auxiliando na análise de tendências de chuva e secas sazonais.

Além do CHIRPS, foram aplicados também os produtos do sensor *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)*, MOD09Q1 e MYD09Q1 acoplados aos satélites Terra e Aqua, respectivamente. Ambos fornecem um valor de estimativa de reflectância espectral da superfície terrestre com resolução espacial de 250 m a cada 8 dias (4 valores ao mês). A partir desses valores de reflectância, pode-se obter o *Enhanced Vegetation Index 2*, comumente citado como EVI-2 e proposto por Jiang *et al.* (2008), a fim de se analisar a relação das anomalias de chuva com o vigor e saúde da vegetação da área de estudo.

Técnicas de análise

Os valores de precipitação (mm) empregados estavam compreendidos entre os anos de 2003 e 2022 e foram agregados por meio da sua média mensal e da sua média anual.

A partir da série de médias anuais de precipitação, utilizou-se do Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) desenvolvido por Rooy (1965) para classificar as magnitudes de precipitações positivas e negativas. Com isso, foi possível avaliar a variabilidade climática e a frequência em que ocorreram os anos secos e chuvosos. A quantificação das anomalias positivas e negativas, se deu pelas Equações 1 e 2, respectivamente:

$$IAC_{\text{positivo}} = 3 \left[\frac{(N - N_1)}{(M - N_1)} \right] \quad (\text{Equação 1})$$

$$IAC_{\text{negativo}} = -3 \left[\frac{(N - N_1)}{(X - N_1)} \right] \quad (\text{Equação 2})$$

Onde N é a precipitação (mm) observada para o ano em que será gerado o IAC; N1 é a precipitação média anual da série histórica (mm); M é a média das dez maiores precipitações anuais da série histórica (mm); e X é a média das dez menores precipitações anuais da série histórica (mm).

As anomalias positivas correspondem aos valores acima da média histórica e anomalias negativas são valores abaixo da média histórica de precipitação.

Quanto à classificação de IAC para anos úmidos e secos, foi realizada de acordo com o proposto por Araújo et al. (2009), presente na Tabela 1:

Tabela 1: Intervalos de classificação do IAC

	Faixa do IAC	Classe de intensidade
Índice de Anomalia de Chuva	> 4	Extremamente úmido
	2 a 4	Muito úmido
	0 a 2	Úmido
	0 a -2	Seco
	-2 a -4	Muito seco
	< -4	Extremamente seco

Fonte: Araújo et al. (2009)

Para a determinação do EVI-2, utilizou-se das duas bandas de reflectância (ρ_1 – vermelho, com comprimento de onda no intervalo de 620-670 nm e ρ_2 - infravermelho próximo, com 841-876 nm). Jiang et al. (2008) demonstrou que o EVI-2 manteve as funções de ajuste e linearização do solo presentes no EVI, sem necessitar da utilização da banda do azul em sua estimativa. O cálculo desse parâmetro ocorreu de acordo com a Equação 3:

$$EVI2 = 2,5 \times \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2 + 2,4\rho_1 + 1,0} \quad (\text{Equação 3})$$

Os valores do EVI-2 foram calculados mensalmente a partir da combinação dos produtos de reflectância MODIS, obtendo-se assim a série histórica com as médias mensais e posteriormente a média anual.

O cômputo dos valores de precipitação (mm) a partir do CHIRPS e a obtenção do EVI-2 por meio dos produtos MOD09Q1 e MYD09Q1 ocorreram com o auxílio da plataforma de análise geoespacial baseada na nuvem Google Earth Engine, na qual se emprega a linguagem de programação JavaScript.

A relação entre o IAC e o EVI-2 foi realizada estatisticamente através da obtenção do coeficiente de correlação amostral de Pearson (r) a um nível de significância de 95%. É importante mencionar que o coeficiente assume valores entre -1 e 1, dos quais r positivo indica associação positiva entre variáveis (diretamente proporcionais) e r negativo demonstra associação negativa (inversamente proporcionais). Quanto maior o módulo de r , mais forte a correlação entre as variáveis.

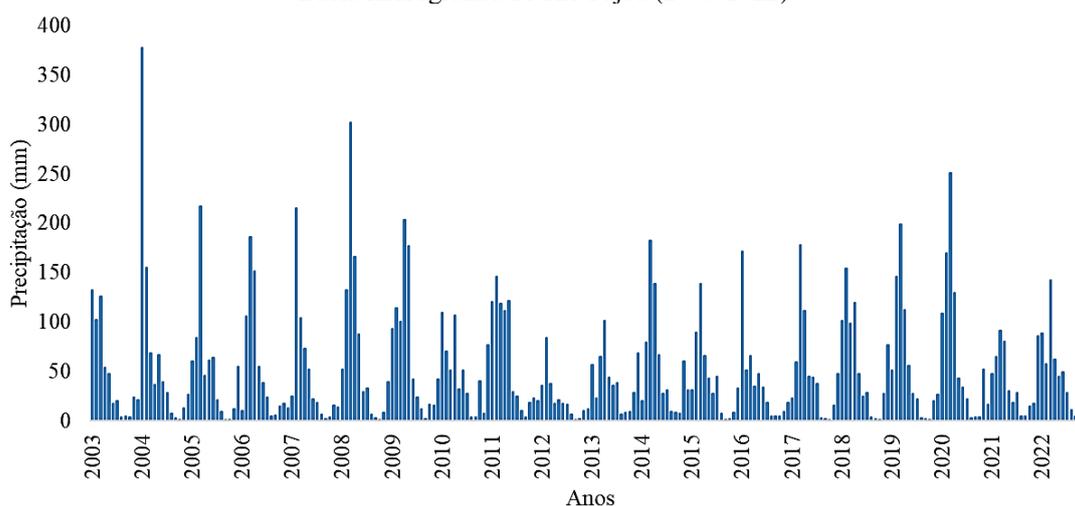
A fim de se obter a modelagem da relação, realizou-se também a quantificação da equação de um modelo de regressão linear simples, bem como obteve-se o seu coeficiente de determinação (R^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variabilidade espaço-temporal da precipitação

A Figura 2 traz a variabilidade da precipitação acumulada mensal para a bacia hidrográfica do Rio Pajeú, na qual se observa um comportamento sazonal no regime de chuvas. Os valores obtidos mensalmente, demonstram que em toda a série, os meses de janeiro a abril se constituíram como o período chuvoso característico da região, com destaque em alguns anos para o mês de janeiro, como por exemplo em 2004, onde o valor da precipitação acumulada alcançou um total de 377,96 mm.

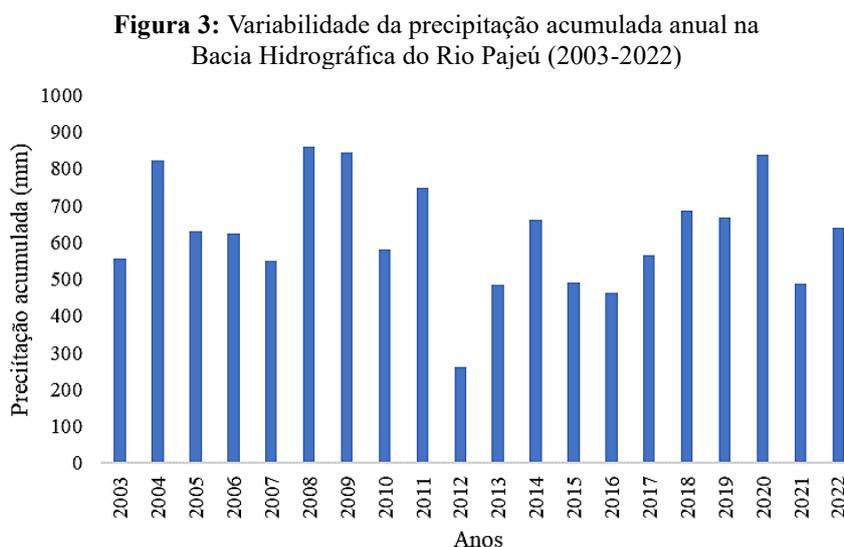
Figura 2: Variabilidade da precipitação acumulada mensal na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú (2003-2022)



Analisando a média histórica de cada mês, a bacia apresentou março como mês mais chuvoso, o qual obteve uma média de 136,29 mm acumulados. Além disso, o mês mais seco correspondeu ao

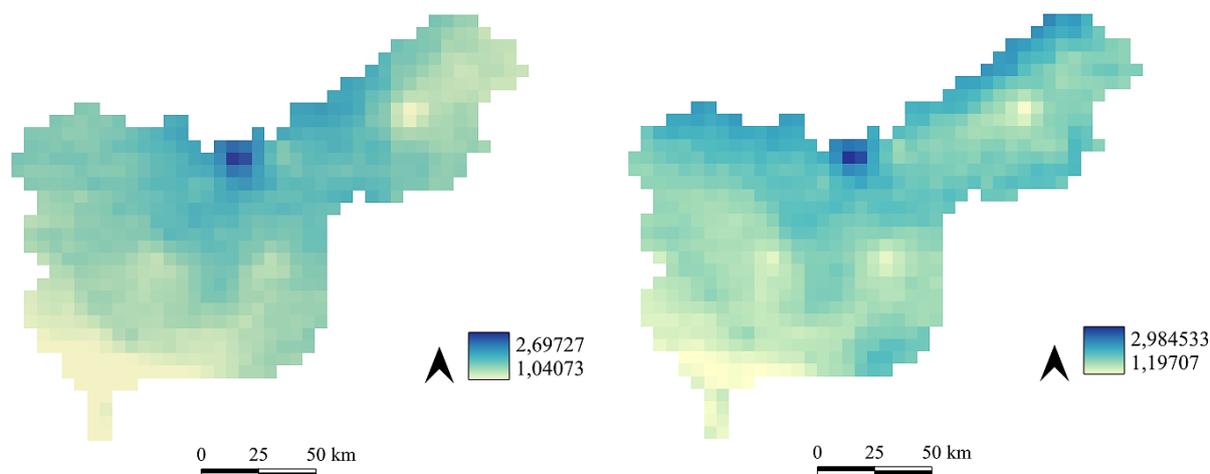
mês de setembro, com uma média de 3,44 mm. O período seco característico da bacia se concentrou entre os meses de agosto, setembro e outubro.

Para o período analisado, a bacia apresentou uma média acumulada anual de 623,09 mm precipitados, com pluviometria acumulada anual acima de 700 mm nos anos de 2004, 2008, 2009, 2011 e 2020, como ilustrado na Figura 3. No período de 2010 a 2017 houve seca para o Nordeste do Brasil (com exceção de 2011 e 2014) onde todos os anos apresentaram precipitação acumulada abaixo da média histórica apontada pelos dados CHIRPS.



Fazendo-se a média diária de precipitação em mm constatou-se que para o ano de 2003 o valor máximo de precipitação média diária foi de 2,69 mm, localizada nos pixels próximos ao município de Triunfo, que possui características morfológicas distintas do restante da região e altitudes elevadas. Como observado da Figura 4, a precipitação média se distribuiu de forma semelhante no ano de 2022, atingindo um valor máximo de 2,98 mm, também nas redondezas dos municípios de Triunfo e Flores.

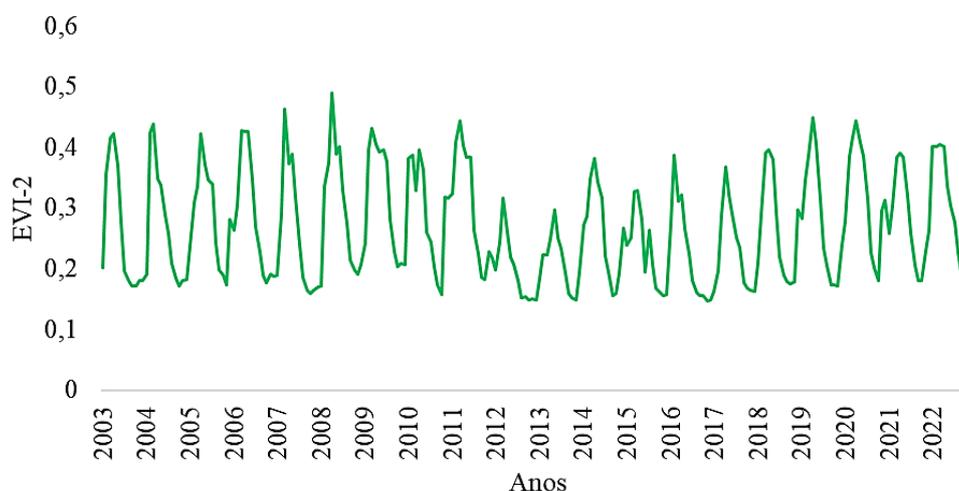
Figura 4 – Variabilidade espacial da precipitação média anual (mm) para 2003 e 2022



Variabilidade espaço-temporal do EVI-2

A quantificação do EVI-2 médio mensal também verifica uma variação sazonal do índice de vegetação. O EVI-2 apresentou crescimento nos primeiros meses de cada ano como esperado, uma vez que corresponde ao período mais chuvoso para a região. Com mais chuva a resposta da vegetação é o aumento do seu vigor vegetativo, conseqüentemente, observa-se crescimento do EVI-2. Além disso, o EVI-2 apresentou queda entre os meses de agosto a outubro, contexto no qual a bacia se encontra em período de estiagem, com perda da cobertura vegetal e aumento de solo exposto. A variabilidade temporal do EVI-2 médio mensal pode ser observada na Figura 5:

Figura 5: Variabilidade temporal do EVI-2 médio mensal na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú (2003-2022)

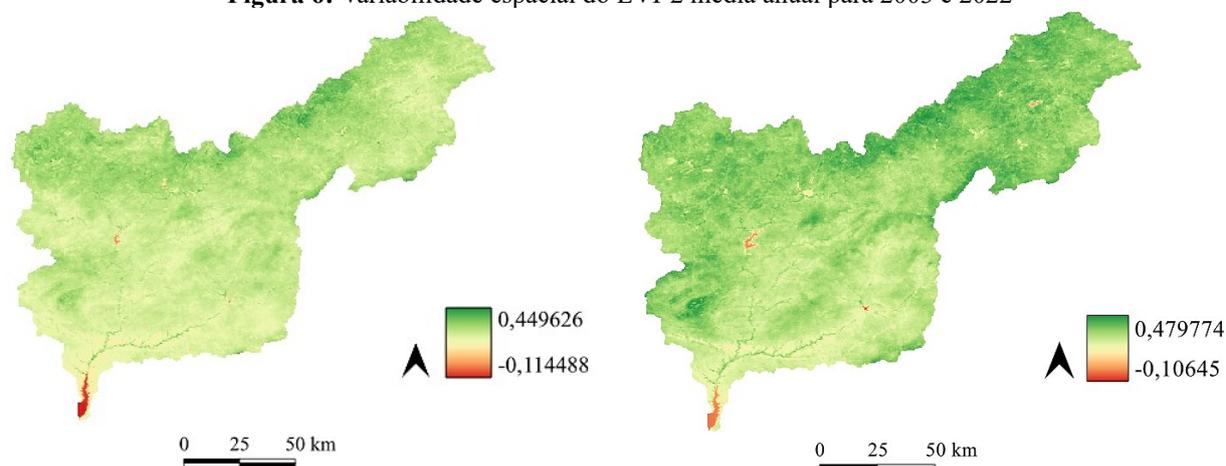


É importante ressaltar que a variação sazonal do EVI-2 também pode ser influenciada por outros fatores, como temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e características específicas da vegetação da região. Além disso, eventos climáticos extremos, como secas prolongadas ou chuvas intensas, podem causar variações anômalas no EVI-2.

O índice apresentou um pico de 0,49 em abril de 2008, valor acima da média histórica anual de 0,27.

A variabilidade espacial do EVI-2 para o ano inicial (2003) e final (2022), pode ser observada na Figura 6. Nela, constata-se que no geral, o índice cresceu em toda a bacia hidrográfica do rio Pajeú, uma vez que o valor máximo atingido em 2003 foi de aproximadamente 0,45 e no ano de 2022 foi de 0,48. Entretanto, constatou-se queda brusca no índice nas localidades de zona urbana, principalmente em municípios que sofreram bastante expansão ao longo desses 20 anos. O processo de urbanização e conseqüente crescimento da malha urbana ocorreu com perda da vegetação através do desmatamento, substituição de áreas verdes por áreas impermeáveis e deflagração de áreas com solo exposto, como observado nas cidades de Serra Talhada, Afogados da Ingazeira e São José do Egito, que apresentaram valores médios de EVI-2 próximos a 0,14, muito abaixo da média anual.

Figura 6: Variabilidade espacial do EVI-2 média anual para 2003 e 2022



Tais observações só foram possíveis devido à alta resolução espacial de 250 m dos produtos de reflectância MODIS empregados. O índice cresceu no ano de 2022 nas áreas de municípios limítrofes com o estado da Paraíba, municípios estes que também apresentaram aumento nas precipitações observadas anteriormente na Figura 4.

A metodologia de Jiang et al. (2008) em determinar o EVI sem a banda do “azul” se apresentou como boa alternativa em obter a variabilidade espaço-temporal do vigor vegetativo da bacia estudada, além de que simplifica o processo de sensoriamento remoto, uma vez que muitos sensores não possuem essa banda em seus sistemas de aquisição de dados.

Índice de Anomalia de Chuvas e EVI-2 anual

No que diz respeito a quantificação do IAC e a posterior classificação dos anos, obteve-se a classificação presente na Tabela 2:

Tabela 2: Classificação do IAC de 2003 a 2022

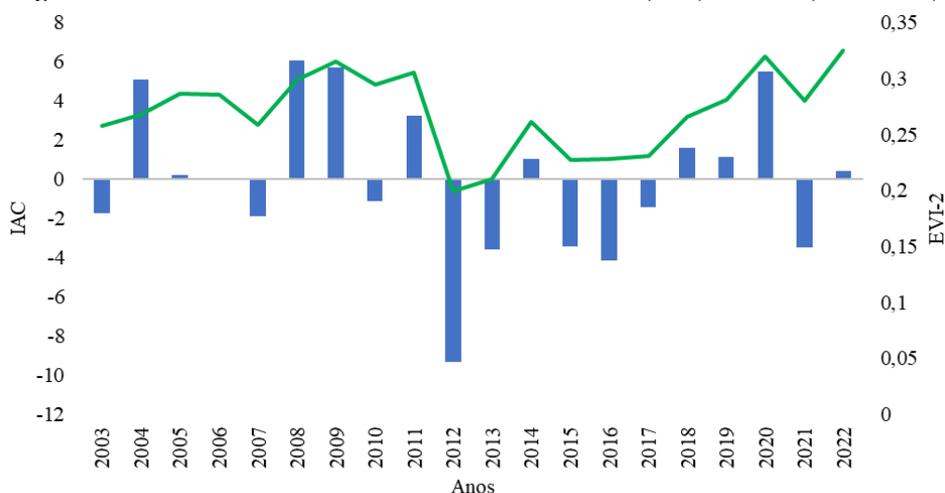
Ano	2003	2004	2005	2006	2007
IAC	-1,72	5,10	0,23	0,07	-1,87
Classificação	Seco	Extremamente úmido	Úmido	Úmido	Seco
Ano	2008	2009	2010	2011	2012
IAC	6,06	5,69	-1,11	3,23	-9,34
Classificação	Extremamente úmido	Extremamente úmido	Seco	Muito úmido	Extremamente seco
Ano	2013	2014	2015	2016	2017
IAC	-3,56	1,02	-3,40	-4,14	-1,45
Classificação	Muito seco	Úmido	Muito seco	Extremamente seco	Seco
Ano	2018	2019	2020	2021	2022
IAC	1,61	1,17	5,48	-3,47	0,42
Classificação	Úmido	Úmido	Extremamente úmido	Muito seco	Úmido

Com base na classificação obtida, constatou-se que a quantidade de chuvas foi inferior à média histórica em muitos anos presentes na série, entretanto alguns anos apresentaram IAC positivo, indicando pluviosidade acima da média histórica encontrada.

Observou-se ainda uma redução significativa das chuvas no ano de 2012, classificado como extremamente seco, atingindo um IAC negativo de -9,34. É possível concluir que nesse ano, a região experimentou o mais alto déficit pluviométrico em relação à média histórica.

Verifica-se ainda, por meio da Figura 7, que anomalias negativas (IAC negativos) resultaram na queda da média do EVI-2, comprovando assim a perda de vigor vegetativo na região frente ao déficit hídrico.

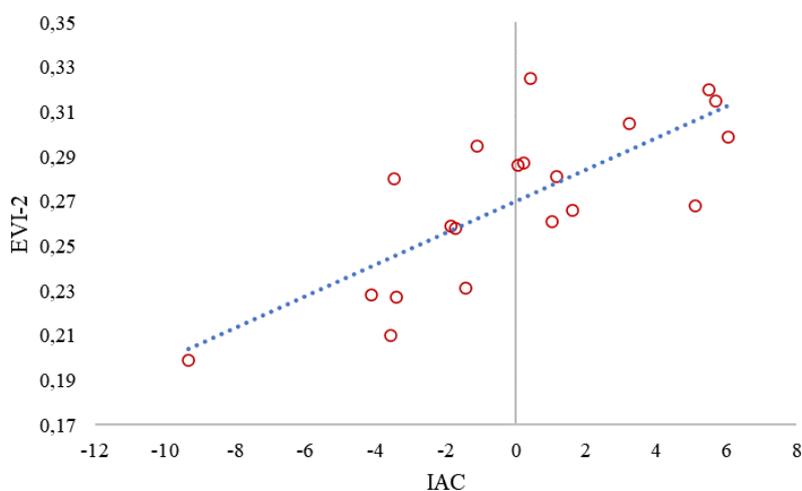
Figura 7: Variabilidade do Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) e EVI-2 (2003-2022)



Tal situação é comprovada pelo comportamento do índice em anos como 2007, que obteve IAC negativo de -1,87 e queda do EVI-2 de 0,29 em 2006 para 0,26 em 2007. A queda mais brusca do vigor vegetativo foi obtida no ano de 2012 (de 0,3 para 0,19), ano mais seco da série temporal. Assim, os resultados comprovam que para a bacia hidrográfica do Rio Pajeú, a precipitação desempenha um papel fundamental no ciclo hidrológico e na dinâmica da vegetação.

A correlação amostral realizada entre IAC e EVI-2 obteve coeficiente de correlação $r = 0,77$, indicando que o aumento de IAC (crescimento da precipitação) contribui diretamente no aumento da saúde da vegetação, consequentemente aumenta o EVI-2. A modelagem da regressão linear simples entre as variáveis pode ser observada na Figura 8:

Figura 8: Regressão linear simples entre EVI-2 e IAC



Para este modelo, obteve-se coeficiente de determinação $R^2 = 0,58$, indicando que aproximadamente 58% da variabilidade do EVI-2 pode ser explicada pela relação linear com o IAC. Porém, ainda há uma parte considerável dessa variabilidade que não é explicada pela relação linear com o IAC. Em outras palavras, existem fatores, além da anomalia de chuvas, que não são considerados pelo modelo e que podem estar contribuindo para a variabilidade restante no EVI-2.

Mesmo assim, interpreta-se que o valor da anomalia de chuva é um fator preponderante para a variabilidade do vigor vegetativo da bacia estudada, mas é importante lembrar que o mesmo pode estar sendo influenciado por múltiplos fatores, sendo mais adequado realizar um estudo com outros tipos de regressão, como a regressão múltipla, uma vez que a relação entre EVI-2 e IAC não é totalmente linear.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados e inferências obtidas com este estudo, conclui-se que a precipitação e o regime de chuvas têm um forte impacto no vigor vegetativo da bacia hidrográfica do Rio Pajeú, uma vez que o EVI-2 cresceu nos meses e nos anos de maior pluviosidade. Em contrapartida, os períodos com baixa pluviosidade resultaram em menores valores de EVI-2. Constatou-se ainda que o vigor da vegetação variou positivamente entre o ano inicial e final da série histórica, situação observada pela variabilidade espacial obtida.

O IAC se mostrou um bom indicador para classificar os anos da série histórica de acordo com a disponibilidade hídrica e média histórica da precipitação, apresentando uma correlação positiva com EVI-2. Entretanto, inferiu-se também que a precipitação não é a única influência sobre a vegetação, uma vez que o modelo de regressão linear apresentou coeficiente de determinação moderado.

Em resumo, a relação entre o EVI-2 e o IAC mostra a dependência da vegetação em relação à quantidade de chuvas. O EVI-2 tende a aumentar com uma maior disponibilidade de água e a diminuir em períodos de escassez de chuvas. No entanto, é necessário considerar outras variáveis e realizar análises adicionais para uma avaliação mais completa da relação entre esses dois índices.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba – FAPESQ/PB, por viabilizar a realização da pesquisa e a obtenção dos resultados a partir do fomento de bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS

- APAC – Agência Pernambucana de Águas. **Atlas de Bacias Hidrográficas de Pernambuco (2006)**. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br>. Acesso em 10 de maio de 2023.
- ARAUJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. (2009). Análise Climática da Bacia do rio Paraíba – índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Revista de Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 508-523.
- ASNER, G. P., ANDERSON, C. B., MARTIN, R. E., KNAPP, D. E., KENNEDY-BOWDOIN, T., & VAN BREUGEL, M. (2016). Large-scale impacts of herbivores on the structural diversity of African savannas. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 113(2), 547-552.
- BATES, B.C.; KUNDZEWICZ, Z.W.S. WU, S.; PALUTIKOF, J.P. (eds). **Climate Change and Water, Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva: IPCC, 2008.
- GLOOR, M.; BARICHIVICH, J.; ZIV, G. (2015), Recent Amazon climate as background for possible ongoing and future changes of Amazon humid forests. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 29, p. 1384-1399, 2015.
- HARGREAVES, G. H., HARGREAVES, G. H., & HARGREAVES, G. H. (2017). An assessment of the feasibility of global solar radiation estimation from NOAA-AVHRR data. **Agricultural and Forest Meteorology**, 93(3), 211-228.
- 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.
- MARENGO, J.A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; REMON, M. An Intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: Part 2 - Historical trends. **Climate Change**, v. 98, n. 3, p. 509-529, 2010.
- ROOY, M.P. van, 1965: A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space, **Notos**, 14, 43.
- SILVA, J. S. S. et al. Análise da cobertura vegetal da bacia do rio Pajeú, Sertão de Pernambuco-PE. **Revista Geonorte**, v. 6, n. 1, p. 37-44, 2013.
- TRENBERTH, K. E., DAI, A., RASMUSSEN, R. M., & PARSONS, D. B. (2014). The changing character of precipitation. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 95(4), 403-418.
- ZHAO, XIA; HU, HUIFENG; SHEN, HAIHUA; ZHOU, DAOJING; MYNENI, RANGA B.; FANG, JINGYUN (2015). Satellite-indicated long-term vegetation changes and their drivers on the Mongolian Plateau. **Landscape Ecology**, Vol. 30, 211-228.