Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science
http://periodicos.unievangelica.edu.br/fronteiras/
ISSN 2238-8869

Article

Análise da Influência de Variáveis Climáticas e do Uso e Cobertura da Terra no Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Larissa de Sousa Pereira[1], Guilherme Olímpio Lins[2], Adria Lorena de Moraes Cordeiro[3], Antônio Jorge Silva Araújo Junior[4], Laila Rover Santana[5]

[1] Bacharela em Engenharia Sanitária e Ambiental. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. ORCID: 0009-0005-3050-4001. Email: lariisousa15s@gmail.com
[2] Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. ORCID: 0009-0005-7146-9644. Email: guilhermeolimpio20que@gmail.com
[3] Mestra em Engenharia Civil. Docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. ORCID: 0000-0002-1369-1635. Email: adria.cordeiro@ifpa.edu.br
[4] Doutor em Engenharia Civil. Docente na Universidade Federal do Oeste do Pará. ORCID: 0000-0003-2919-3240. Email: antonio.jsa@ufopa.edu.br
[5] Mestra em Engenharia Civil. Docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. ORCID: 0000-0003-1824-6976. Email: laila.santana@ifpa.edu.br

RESUMO
O avanço do sensoriamento remoto trouxe novas perspectivas para o monitoramento ambiental, permitindo compreender fenômenos como o desmatamento e as mudanças climáticas. Este trabalho analisou as respostas do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) às variáveis climáticas (precipitação e temperatura) e ao uso e cobertura da terra em uma microbacia localizada no sudoeste do Estado do Pará, nos períodos de 2000, 2006, 2012, 2018 e 2023. Para calcular o NDVI, foram utilizados dados do MODIS extraídos da plataforma Google Earth Engine (GEE), especificamente da coleção MOD13A1.061, que oferece composições de 16 dias com resolução espacial de 1 km. Dados de precipitação foram obtidos do produto CHIRPS, enquanto os dados de temperatura foram derivados do produto MOD11A2.061, ambos processados na plataforma GEE. Para a caracterização do uso e cobertura da terra utilizou-se dados do MapBiomas (Coleção 9), reclassificados no software QGIS. Os resultados indicaram um declínio na qualidade da vegetação, especialmente devido à expansão de áreas de pastagem. Observou-se que temperaturas mais altas tiveram impacto significativo na redução do NDVI, enquanto a precipitação apresentou correlação baixa com índice. Áreas de floresta preservada mantiveram valores elevados de NDVI, destacando a importância da conservação desses espaços. O uso de geoprocessamento foi essencial para identificar padrões espaço-temporais, corroborando que a pressão antrópica afeta negativamente a vegetação. Portanto, os resultados indicam que as variáveis climáticas, como a temperatura e precipitação, e as mudanças no uso e cobertura da terra, como a expansão das pastagens, têm grande influência na qualidade da vegetação na microbacia.
Palavras-chave: NDVI; uso e cobertura da terra; variáveis climáticas.

ABSTRACT
Advances in remote sensing have brought new perspectives to environmental monitoring, allowing us to understand phenomena such as deforestation and climate change. This study analyzed the responses of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to climate variables (precipitation and temperature) and land use and land cover in a microbasin located in the southwest of the state of Pará, in the periods 2000, 2006, 2012, 2018 and 2023. To calculate the NDVI, MODIS data extracted from the Google Earth Engine (GEE) platform were used, specifically from the MOD13A1.061 collection, which offers 16-day compositions with a spatial resolution of 1 km. Precipitation data were obtained from the CHIRPS product, while temperature data were derived from the MOD11A2.061 product, both processed in the GEE platform. To characterize land use and land cover, data from MapBiomas (Collection 9) were used, reclassified in the QGIS software. The results indicated a decline in vegetation quality, especially due to the expansion of pasture areas. It was observed that higher temperatures had a significant impact on the reduction of NDVI, while precipitation showed a low correlation with the index. Preserved forest areas maintained high NDVI values, highlighting the importance of conserving these spaces. The use of geoprocessing was essential to identify spatiotemporal patterns, corroborating that

Submissão: 24/04/2026 Aceite: 19/06/2026 Publicação: 14/11/2026

v.15, n.3, 2026 • p. 218-234. • DOI http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2026v15i3.8812

© 2021 by the authors. Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratização mundial do conhecimento. Este manuscrito é distribuído nos termos da licença Creative Commons – Atribuição - NãoComercial 4.0 Internacional (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode), que permite reproduzir e compartilhar o material licenciado, no todo ou em parte, somente para fim não comercial; e produzir, reproduzir, e compartilhar material adaptado somente para fim não comercial.

anthropic pressure negatively affects vegetation. Therefore, the results indicate that climatic variables, such as temperature and precipitation, and changes in land use and land cover, such as pasture expansion, have a great influence on the quality of vegetation in the microbasin.
Keywords: NDVI; land use and cover; climate variables.

Introdução

O avanço das tecnologias de sensoriamento remoto tem revolucionado a forma como observamos e compreendemos os fenômenos terrestres. Satélites de observação da Terra permitem o monitoramento contínuo e em larga escala da superfície terrestre, fornecendo dados essenciais para a análise de mudanças ambientais, como desmatamento, urbanização, desastres naturais e alterações climáticas. Esses sistemas possibilitam a detecção de variáveis ambientais, como temperatura do ar, precipitação, umidade e, especialmente, a cobertura vegetal e o uso do solo, contribuindo significativamente para o planejamento ambiental e a gestão sustentável dos recursos naturais (Barbosa et al. 2023; Wulder et al. 2022).

Com a melhora das técnicas de sensoriamento remoto pode-se perceber um benefício para inúmeras áreas, em particular na área ambiental. No Brasil, o desmatamento configura-se como um dos principais problemas ambientais, onde sua intensificação tem gerado severas consequências ecológicas, sociais e econômicas (Fearnside 2006; Leite et al. 2023). Para Hu et al. (2019), os ecossistemas de vegetação são o resultado de interações de longo prazo entre o clima, as atividades humanas e características topográficas. No contexto do aquecimento global e da intensificação das atividades humanas, os ecossistemas de vegetação terrestre estão passando por mudanças sem precedentes (Huang et al. 2021), em especial, a região amazônica brasileira, que segundo um estudo realizado por Ziccardi et al. (2024), entre agosto de 2020 e julho de 2021, o desmatamento atingiu o pico da década, em grande parte devido à expansão agrícola, particularmente de soja e pecuária.

Nesse contexto, o monitoramento das mudanças na vegetação e a análise dos fatores determinantes para essas alterações tornaram-se tópicos extremamente importantes a serem estudados (Lin et al. 2020). Uma das ferramentas que vem sendo muito utilizada com o intuito de auxiliar e facilitar esse monitoramento é o uso de Índices de Vegetação (IV), em particular o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). O NDVI é amplamente utilizado para avaliação da dinâmica da vegetação devido à sua simplicidade, acessibilidade e eficácia em monitorar a vegetação em diferentes escalas espaciais e temporais (Li et al. 2024). Esse índice foi proposto inicialmente por Rouse et al. (1974) e permite identificar a presença de vegetação verde e caracterizar sua distribuição espacial, assim como alterações em um espectro temporal.

Para Joiner et al. (2018), variáveis climáticas como temperatura e precipitação são frequentemente estudadas como potenciais influenciadoras do NDVI. No entanto, a relação entre essas variáveis e o índice é complexa e varia conforme a região e o tipo de ecossistema (Piedallu et al. 2019). Estudos recentes mostram que, embora o NDVI responda à precipitação e à temperatura, a força e a natureza dessa resposta não são uniformes, podendo diferir significativamente entre áreas (Chen et al. 2023; Kumar et al. 2023; Wang et al. 2024). Além disso, fatores antrópicos, como mudanças no uso e cobertura da terra, incluindo pastoreio excessivo e uso intensivo de recursos hídricos, dificultam ainda mais a interpretação dessas relações (Zewdie et al. 2017).

A crescente busca por áreas de cultivos e pastagens faz com que a cobertura vegetal da região amazônica reduza drasticamente a cada mês (Miranda et al. 2021). De acordo com dados do Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD), em janeiro de 2025 foram detectados 133 km² de desmatamento na Amazônia Legal, e segundo o levantamento, os estados que mais contribuíram para este cenário foram Mato Grosso com 45%, Roraima com 23% e Pará com 20% (Amorim et al. 2025). O sudoeste do Pará é uma das regiões pecuaristas de maior crescimento da Amazônia brasileira, com elevadas taxas de desmatamento (Klingler et al. 2018), sendo necessário o monitoramento e controle ambiental dessa região.

Diversos estudos realizados na Amazônia têm utilizado o NDVI como ferramenta para monitorar alterações na cobertura vegetal e avaliar os efeitos das mudanças climáticas e do uso da terra. Souto et al. (2019), ao analisarem a bacia do rio Iriri, no estado do Pará, observaram que a relação entre precipitação e NDVI varia espacialmente e pode ser influenciada por eventos climáticos extremos, como El Niño e La Niña. O estudo de Moura et al. (2023) analisou a dinâmica de índices de vegetação em áreas protegidas da Amazônia utilizando imagens de alta resolução espacial e temporal, verificando que o NDVI é uma ferramenta eficiente para o monitoramento das variações fenológicas da floresta e para a detecção de alterações na cobertura vegetal decorrentes de fatores ambientais. Já a pesquisa de Marques et al. (2024) avaliou a eficácia de diferentes índices de vegetação na detecção de distúrbios florestais no sudeste da Amazônia e verificaram que esses indicadores

são ferramentas sensíveis para identificar alterações na estrutura e no vigor da vegetação decorrentes de incêndios florestais.

Apesar da existência de diversas pesquisas utilizando o NDVI na Amazônia brasileira, ainda são escassos os estudos que avaliam de forma integrada a influência simultânea das variáveis climáticas e das mudanças de uso e cobertura da terra sobre o comportamento do NDVI em microbacias hidrográficas localizadas no sudoeste do estado do Pará, uma região com intensa expansão da pecuária e da agricultura.

Nesse contexto, o presente estudo busca analisar as respostas do NDVI considerando a variabilidade climática e as mudanças de uso e cobertura da terra em uma microbacia localizada no sudoeste do estado do Pará entre os anos 2000 e 2023. Para isso, foram utilizados dados de NDVI do sensor MODIS, dados de precipitação provenientes do CHIRPS, dados de temperatura da superfície terrestre do produto MOD11A2 e dados de uso e cobertura da terra disponibilizadas pelo MapBiomas.

Materiais e Métodos

Área de estudo

A microbacia utilizada no estudo está situada no sudoeste do Estado do Pará, abrangendo uma área de aproximadamente 11.401,78 km² (Figura 1). Mais de 80% de sua extensão encontra-se no município de Novo Progresso, enquanto o restante está localizado em Itaituba. Devido a essa distribuição territorial, as variáveis climáticas, bem como o uso e a cobertura da terra, apresentam comportamentos predominantemente similares aos observados em Novo Progresso, uma vez que a maior parte da microbacia pertence a esse município.

A região está inserida no Bioma Amazônico e caracteriza-se por um clima quente e úmido, do tipo equatorial, com temperatura média anual variando entre 25 °C e 28 °C. A pluviosidade média anual é de aproximadamente 2200 mm, dividindo-se em dois períodos climáticos: o chuvoso, que vai de dezembro a junho, e o menos chuvoso, de julho a novembro (Barros et al. 2021; Mendes & Dos Santos 2019).

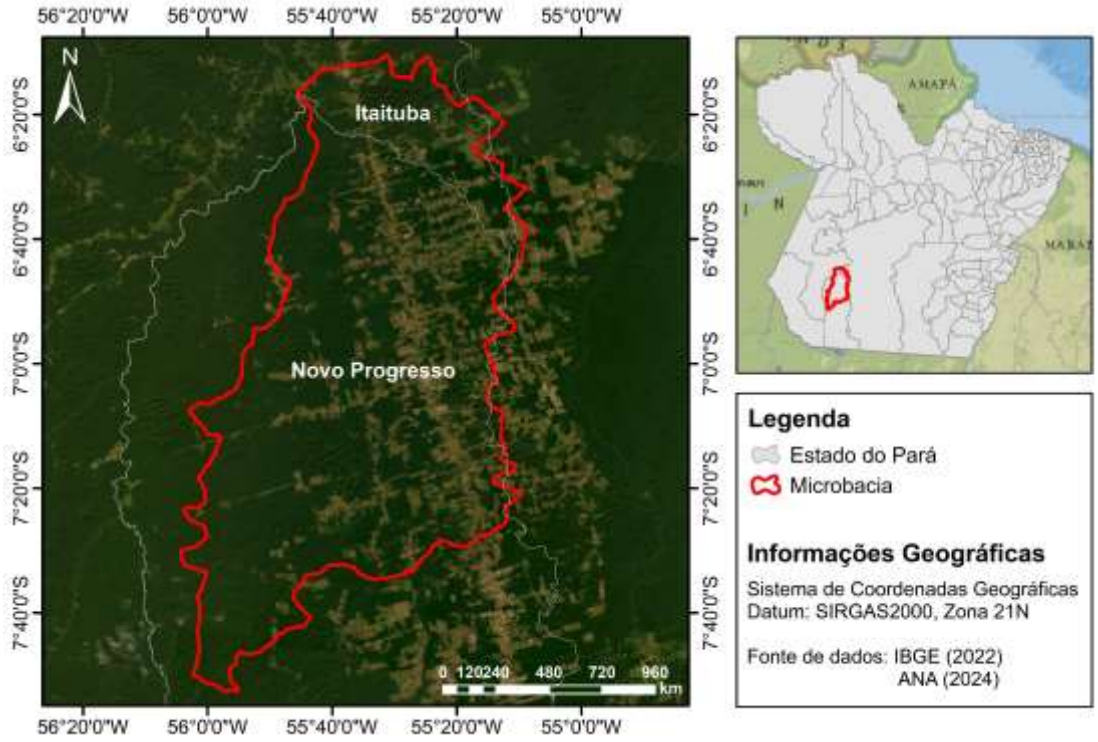


Figura 1. Localização da Microbacia. Fonte: Elaborado pelos Autores.

Segundo Nascimento et al. (2019) a economia local é historicamente dominada pela pecuária extensiva, garimpo de ouro e extração madeireira. Com a recente expansão da soja na região, a agricultura de grãos e a pecuária consolidaram-se como os principais vetores de desmatamento e de mudança no uso do solo nesta fronteira agrícola (Nascimento et al. 2019; Nascimento et al. 2020).

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

A análise do NDVI na microbacia foi realizada para os anos de 2000, 2006, 2012, 2018 e 2023, em intervalos regulares de seis anos. Considerando que o estudo foi iniciado em 2024 e os dados disponíveis se estendiam até 2023, a análise limitou-se a esse período. Para cada ano selecionado, utilizou-se a média anual dos valores do índice.

Os dados utilizados para o cálculo do NDVI foram obtidos a partir do sensor MODIS, por meio da coleção MOD13A1.061 disponível na plataforma Google Earth Engine (GEE). O MODIS fornece composições de 16 dias com resolução espacial de 1 km, abrangendo registros contínuos desde o ano 2000 (Spruce et al. 2016). Essas coleções são amplamente empregadas em estudos de monitoramento da cobertura vegetal, análise de padrões sazonais e avaliação da saúde da vegetação em diversos ecossistemas. Conforme salientado por Salgado et al. (2023), o satélite MODIS utiliza algoritmos específicos para detectar e reduzir a interferência de nuvens nas imagens, o que é essencial para garantir maior precisão na classificação de séries temporais como o NDVI.

A base teórica para o uso de combinações das bandas do vermelho e infravermelho próximo no monitoramento da vegetação foi proposta originalmente por Rouse et al. (1974) e consolidada por Tucker (1979). O índice é calculado usando os valores de reflectância das bandas do vermelho e do infravermelho próximo, permitindo a avaliação do verde da vegetação ao longo do tempo (Equação 1).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Onde NIR é a banda do infravermelho próximo e RED é a banda vermelha. Para Morshed et al. (2020), os valores do índice variam entre -1 e 1, sendo interpretados de acordo com a densidade e o vigor da vegetação. A vegetação sadia reflete fortemente o NIR, enquanto a clorofila absorve intensamente na faixa do vermelho. Valores próximos de zero ou negativos (abaixo de 0,1) indicam superfícies com pouca ou nenhuma cobertura vegetal, como rochas expostas, areia ou neve. Por outro lado, valores altos de NDVI indicam vegetação densa e saudável, como florestas tropicais e temperadas (acima de 0,6). Valores intermediários (entre 0,2 e 0,3) são típicos de vegetação esparsa, enquanto valores moderados (entre 0,4 e 0,6) estão associados a áreas de arbustos e pastagens.

Dados de precipitação e temperatura

No presente estudo, foram calculadas as médias anuais com conjunto de dados de precipitação e temperatura para os anos de 2000, 2006, 2012, 2018 e 2023.

Para obtenção dos dados de precipitação foi utilizada a plataforma do GEE, a partir das séries temporais diárias de chuva da coleção do Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS). O CHIRPS foi desenvolvido por pesquisadores do Earth Resources Observation and Science (EROS) e United States Geological Survey (USGS) e fornece informações diárias sobre a chuva para quase todo o globo terrestre, com cobertura geográfica de 50ºS a 50ºN, resolução espacial de 0,05° x 0,05º (aproximadamente 5 km) e dados diários de precipitação de 1981 até os dias atuais (Funk et al 2015).

Os dados de temperatura foram obtidos por meio do produto MOD11A2.061 do sensor MODIS/Terra, que fornece dados de Temperatura da Superfície Terrestre (TST) e Emissividade com resolução espacial de 1 km, em composições de 8 dias. O MOD11 é um produto essencial para obtenção de variáveis que ajudam a descrever os processos da superfície terrestre, sendo extremamente requisitadas para diversos estudos climáticos e hidrológicos (Wan et al. 2021).

Dados de uso e cobertura da terra

Para a caracterização do uso e cobertura da terra, foram utilizados dados da microbacia para os anos de 2000, 2006, 2012, 2018 e 2023 da Coleção 9 do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomas), com resolução de 30 m, disponível na plataforma oficial (https://brasil.mapbiomas.org/).

As imagens foram baixadas e reclassificadas no software livre QGIS (versão 3.36.2), utilizando uma paleta de cores RGB disponibilizada pela plataforma. No processo de reclassificação das categorias de uso e cobertura da terra no QGIS, as classes foram organizadas da seguinte forma com base no código de classes da coleção 9 fornecida pelo próprio MapBiomas: Classe 1 corresponde à Floresta, Classe 2 à Savana, Classe 3 à Pastagem, Classe 4 à Agricultura, Classe 5 à Área não vegetada e Classe 6 a Corpo d'água.

Análise de correlação

A análise estatística entre as séries de NDVI, variáveis climatológicas e do uso e cobertura da terra foi realizada por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r), um estimador paramétrico que mede o grau de associação linear e a direção do relacionamento entre duas variáveis quantitativas contínuas (Figueiredo Filho & Silva Júnior, 2009). O estimador amostral do coeficiente de correlação de Pearson é definido matematicamente pela razão entre a covariância das duas variáveis e o produto de seus respectivos desvios padrão (Equação 2).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X}).(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2 . \sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2)$$

Onde r é o coeficiente de correlação de Pearson, que varia de -1 (correlação negativa perfeita) a $+1$ (correlação positiva perfeita); X_i e Y_i correspondem aos valores individuais observados de NDVI e das variáveis analisadas; $\bar{X}$ e $\bar{Y}$ são as médias aritméticas amostrais das respectivas variáveis e n representa o número total de observações pareadas.

Resultados e Discussões

NDVI médio anual 2000-2023

Analisando o NDVI calculado na microbacia, observou-se uma dinâmica significativa na qualidade da vegetação ao longo dos anos, conforme a Figura 2. O índice permitiu identificar mudanças na cobertura vegetal, e os mapas gerados para cada ano ilustram essas variações. Esses mapas gerados apresentam as médias anuais do NDVI, destacando as variações na cobertura vegetal tanto no espaço quanto no tempo. De acordo com Alves e Loverde-Oliveira (2020), é possível identificar áreas com maior densidade vegetal, evidenciadas por valores mais altos de NDVI, assim como regiões com menor densidade de cobertura vegetal, indicadas por valores mais baixos.

A partir da análise do mapa apresentado (Figura 2), é possível perceber que o ano de 2000 se destaca como o período com melhor qualidade de vegetação. De acordo com os estudos de Vale (2020) e Souza et al. (2022), no estado do Pará, no ano 2000 a vegetação era densa, no entanto, nos anos seguintes observou-se um aumento expressivo das áreas destinadas à pastagem e à agricultura, que se consolidaram como as principais atividades do estado. Nesse contexto, a pastagem e a agricultura, que no ano 2000 representavam apenas 7,38% e 0,0003% da área total da microbacia, expandiram-se significativamente até 2023, passando a ocupar 36,34% e 0,24% do território, respectivamente.

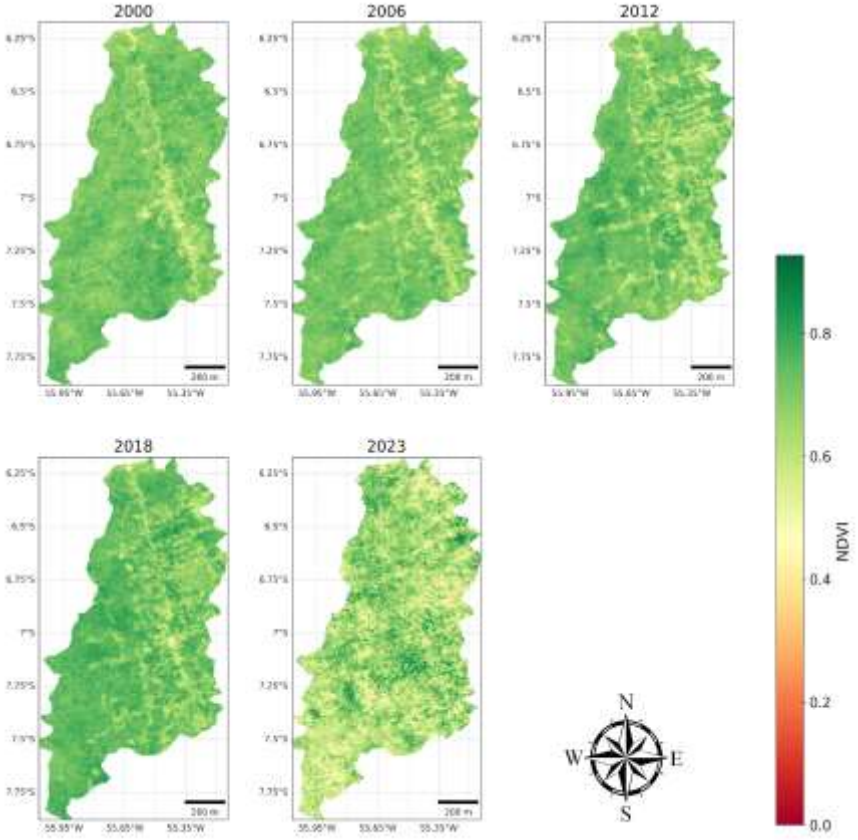


Figura 2. Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada dos Anos de 2000-2023. Fonte: Elaborado pelos Autores.

No ano de 2023, foi observado uma maior mudança com relação a qualidade e densidade da vegetação. Segundo Barros et al. (2021), esse fenômeno pode estar associado a diversos fatores, incluindo o aumento da pressão antrópica, impulsionado pela expansão de áreas agrícolas ou outras atividades impactantes, que acabam provocando a degradação ambiental. Além disso, Sales (2023) destaca que as variações observadas no NDVI podem estar relacionadas às mudanças climáticas, especialmente ao aumento das temperaturas.

Precipitação média anual de 2000-2023

A Figura 3 apresenta os mapas da precipitação média anual entre os anos de 2000 e 2023 para a área de estudo. No período analisado, observou-se que a precipitação média anual variou de 1990 mm a 2710 mm. De acordo com os dados divulgados pela Fundação Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa (FAPESPA) no ano de 2021, o município de Novo Progresso-PA se caracteriza com índice pluviométrico com média anual em torno de 2200 mm, com alta umidade do ar em quase todo o ano.

Os anos de 2012 e 2018 destacaram-se com os maiores valores de precipitação, enquanto 2000 e 2006 apresentaram os menores volumes registrados. Em 2023, no entanto, verificou-se o pior cenário dos índices pluviométricos, com precipitação mínima e máxima igual a 1991 mm e 2250 mm, respectivamente. Essa diminuição da precipitação se deu em boa parte da região amazônica em razão da ocorrência do fenômeno El Niño em 2023, que foi caracterizado por uma intensidade forte. Na região Norte do Brasil, esse cenário resultou em impactos climáticos severos, com um déficit hídrico acentuado que levou diversos estados a enfrentarem secas de gravidade extrema (INPE, 2024).

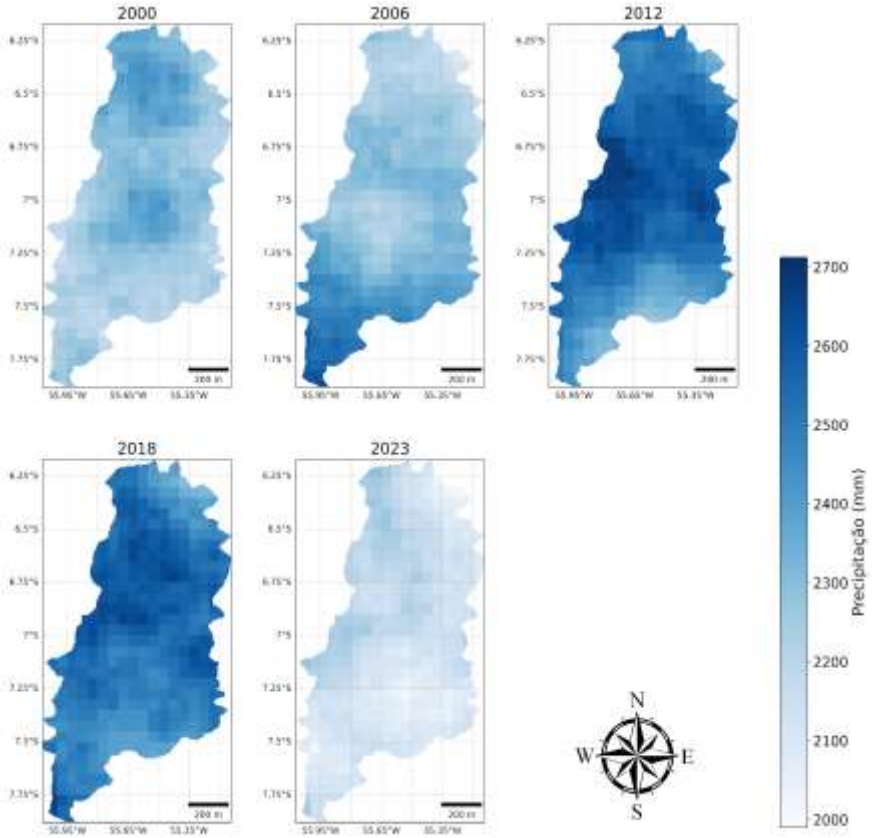


Figura 3. Precipitação média anual de 2000-2023. Fonte: Elaborado pelos Autores.

Segundo Dickmann e Liotti (2024) e Gonçalves et al. (2016), essa redução na precipitação média pode ser influenciada por diversos fatores, como fenômenos atmosféricos, mudanças ambientais, processos de urbanização e industrialização, os quais também afetam outros elementos meteorológicos. No Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), a região amazônica terá diminuição de 25% a 30% no volume de chuvas no período de 2041 a 2070 e uma diminuição de 40% a 45% de 2071 a 2100, para os cenários de maiores emissões de gases de efeito estufa. Além disso, para Bottino et al. (2024), os efeitos combinados da mudança no uso da terra e do aquecimento global levaram a uma redução substancial na precipitação anual, com uma redução média de 44% em toda a bacia amazônica.

Temperatura média anual de 2000-2023

De acordo com Santos et al. (2021), o clima do município de Novo Progresso é do tipo equatorial úmido, com temperatura média anual de 25,6 °C, podendo atingir valores entre 29 °C e 30 °C. Essa condição climática contribui significativamente para a frequência de incêndios florestais na região, especialmente em períodos de estiagem, altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar (Lopes et al. 2017). O aumento das temperaturas agrava a seca e potencializa o risco de propagação do fogo. Ma et al. (2024) ressaltam que a combinação entre aquecimento e escassez de chuvas eleva consideravelmente a probabilidade de incêndios em áreas de vegetação nativa.

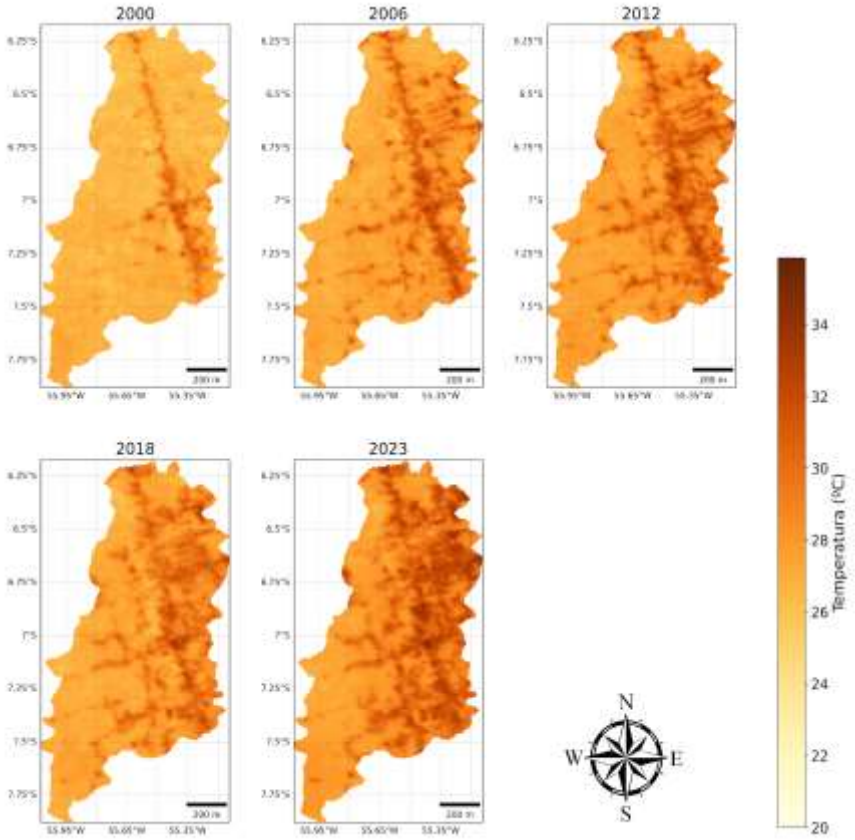


Figura 4. Temperatura média anual de 2000-2023. Fonte: Elaborado pelos Autores.

A análise da temperatura média anual entre os anos de 2000 e 2023 (Figura 4) revela uma variação entre 20 °C e 34 °C, com o ano de 2000 apresentando os valores mais baixos. A partir de 2006, observa-se uma tendência de aumento gradual das temperaturas, sendo 2023 o ano com os valores mais elevados de todo o período analisado. Esse aumento acentuado pode indicar impactos negativos sobre o equilíbrio ambiental e o clima regional. Segundo Santos et al. (2021), a área sofreu um crescimento expressivo nas ocorrências de incêndios entre 2019 e 2021, o que contribuiu significativamente para o aumento da temperatura local.

Entre os anos analisados, observou-se a ocorrência de La Niña em três deles (2000, 2012 e 2018), enquanto 2006 e 2023 foram marcados pelo fenômeno El Niño, com destaque para o ano de 2023, no qual o evento apresentou intensidade forte. De acordo com Pirani et al. (2024), durante episódios de El Niño, as temperaturas na região costumam subir, em média, 0,5°C, contribuindo para um cenário de estresse ambiental exacerbado por secas extremas e anomalias negativas na umidade do solo. Registros históricos indicam uma tendência persistente de aumento tanto nas temperaturas máximas quanto nas mínimas em grande parte do Norte, padrão este que é intensificado pela configuração e intensidade do fenômeno (Costa et al., 2025). Entretanto, mesmo nos anos associados à ocorrência de La Niña (2000, 2012 e 2018), verificou-se aumento de temperatura em determinadas áreas da bacia estudada, sugerindo que, nesses casos, a elevação térmica pode estar relacionada à influência de outros fatores.

Uso e cobertura da terra de 2000-2023

Entre 2000 e 2023, o uso e a cobertura da terra na microbacia apresentaram mudanças significativas (Figura 5). Em 2000, a região apresentava maior cobertura vegetal e uma menor incidência de atividades degradadoras do meio ambiente. Dentre as classes de uso e cobertura do solo classificadas pelo MAPBIOMAS, a pastagem foi a que mais se expandiu ao longo dos anos. Para Rosário et al. (2021), a pecuária é a atividade de maior destaque na região, tanto para a produção de gado de corte como a atividade leiteira, em função da proximidade do município com abatedouros e indústrias de laticínios.

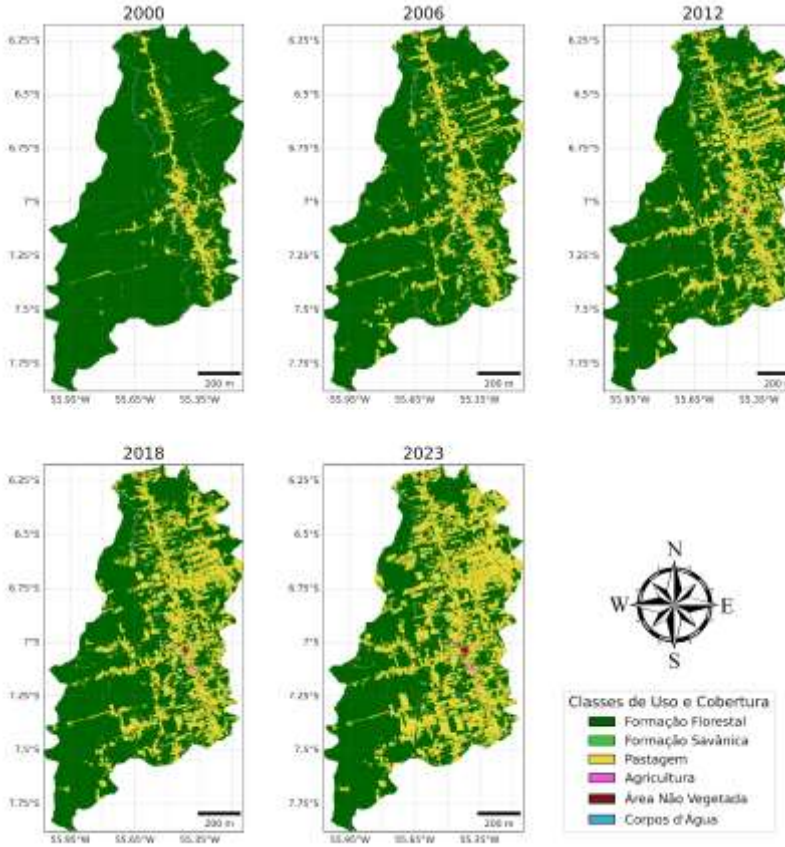


Figura 5. Uso e cobertura do solo de 2000-2023. Fonte: Elaborado pelos Autores.

Em 2000 a área destinada a pastagem na microbacia era de 841,21 km², a partir desse ano observou-se uma intensificação dessa atividade na região, com um aumento considerável nos anos de 2018 e 2023, +283,17% e +392,56%, respectivamente. Essa expansão pode ter contribuído para os resultados observados no índice NDVI, refletindo uma diminuição na qualidade da vegetação e alterações significativas no equilíbrio ecológico da região. Carneiro et al. (2022), em seu estudo, verificou que entre os anos de 2009 e 2019, o município de Novo Progresso sofreu um desmatamento significativo, com 38.924,31 hectares devastados, principalmente devido à expansão da pecuária.

Correlação do NDVI com variáveis climáticas e uso e cobertura da terra

A Figura 6 ilustra as relações entre o NDVI, a precipitação, a temperatura média anual e o uso e cobertura da terra nos anos de 2000, 2006, 2012, 2018 e 2023. Cada variável é analisada individualmente para, ao final, identificar qual exerce maior influência sobre o NDVI na área e período estudados.

Em todos os anos, observa-se que a relação entre NDVI e precipitação apresentou uma correlação fraca, sendo 0,14 o maior valor do coeficiente de Pearson encontrado, indicando que a precipitação teve um impacto limitado no NDVI. Além disso, nos anos 2000 e 2018 a correlação entre NDVI e precipitação foi negativa, -0,15 e -0,06, respectivamente, apontando que com o aumento da precipitação houve um decréscimo no índice.

Por outro lado, a temperatura mostrou correlações mais significativas com o NDVI, especialmente no ano de 2023 (-0,73). Em todos os anos os valores dos coeficientes foram negativos, o que indica que temperaturas mais elevadas podem ter contribuído para a redução da densidade vegetal. De acordo com Dusenge et al. (2019), altas temperaturas podem alterar as vias metabólicas das plantas, comprometendo seu crescimento e desenvolvimento. Para Azevedo e Barbosa (2020), o aumento da temperatura pode causar impactos negativos na vegetação, dificultando seu crescimento e comprometendo sua densidade. Esse fenômeno ocorre porque temperaturas mais altas intensificam o estresse ambiental, afetando a saúde e a cobertura vegetal de forma geral.

Quanto às mudanças no uso e cobertura da terra, observou-se uma correlação negativa moderada em praticamente todos os anos, sendo o ano de 2023 o que apresentou maior valor de correlação, aproximadamente -0,70. Essas correlações evidenciam que alterações antrópicas, como conversão de florestas em pastagens ou áreas agrícolas, influenciaram negativamente o NDVI. Segundo Mahesh et al. (2022), a relação entre o uso e a cobertura da terra com o NDVI destaca os impactos diretos das atividades humanas na vegetação. A conversão

de áreas naturais em espaços destinados à agricultura, pecuária e urbanização reduz a cobertura vegetal e, consequentemente, os valores do NDVI.

.

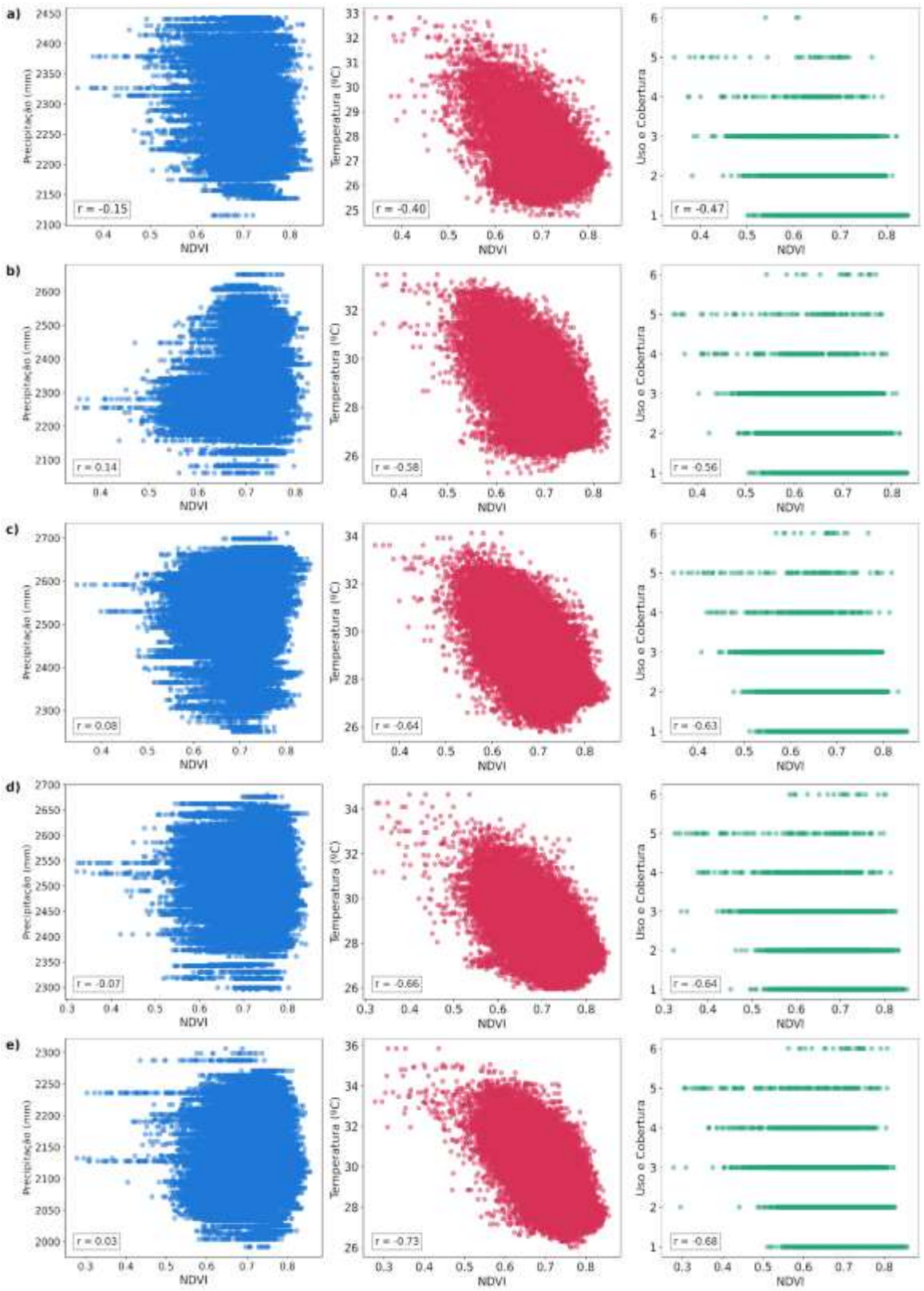


Figura 6. Gráficos de dispersão do NDVI com as variáveis climáticas e uso e cobertura da terra em a) 2000, b) 2006, c) 2012, d) 2018 e e) 2023. Fonte: Elaborado pelos Autores.

Entre as classes de uso e cobertura da terra estudadas (Tabela 1) foi identificado que em todos os anos, especialmente 2023, a classe de Formação Florestal se destaca sempre com uma correlação positiva,

evidenciando que florestas desempenharam um papel crucial na manutenção de altos valores de NDVI. Enquanto, a classe de Pastagem apresentou as maiores correlações negativa, dessa forma, com o aumento de áreas destinadas a pecuária, a tendência é que os valores de NDVI diminuam, o que refletiria um impacto negativo da conversão de vegetação nativa em áreas de pastagem. As demais classes (Formação savânica, Agricultura, Área não vegetada e Corpo d'água) exibiram correlações fracas e negativas, sugerindo menor influência.

Tabela 1. Valores de correlação entre o NDVI e as variáveis climáticas e de uso e cobertura da terra.

Classes	***NDVI***				
	2000	**2006**	**2012**	**2018**	**2023**
Formação Florestal	0,46	0,53	0,60	0,61	0,65
Formação Savânica	0,20	-0,17	-0,17	-0,15	-0,10
Pastagem	0,42	-0,50	-0,55	-0,56	-0,59
Agricultura	0,08	-0,09	-0,08	-0,11	-0,13
Área não vegetada	0,07	-0,07	-0,07	-0,09	-0,11
Corpo d'água	0,02	-0,004	-0,01	-0,004	-0,006

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Nesse contexto, em seu estudo, Lykhovyd et al. (2024), analisaram a correlação entre o NDVI e a temperatura do ar em culturas agrícolas como trigo, milho e soja, destacando que a temperatura influencia diretamente o índice ao impactar processos como a fotossíntese. Os autores identificaram uma relação significativa nas fases críticas do ciclo das plantas com a temperatura, destacando que o monitoramento da temperatura é essencial para uma gestão agrícola eficiente e adaptada às mudanças climáticas. Por outro lado, foi verificado que a correlação entre o NDVI e a precipitação é geralmente mais fraca, sugerindo um papel mais dominante da temperatura.

Em contrapartida, Jiao et al. (2021) e Pei et al. (2019), ressaltaram que a precipitação foi um fator dominante nas mudanças da vegetação, com a sua intensidade influenciando diretamente o NDVI. Em Khyber Pakhtunkhwa, Paquistão, Mehmood et al. (2024) observaram que uma diminuição significativa na precipitação foi acompanhada por um aumento no NDVI, sugerindo adaptação da vegetação às mudanças nas condições climáticas. Além disso, Chen et al. (2023), observaram que as respostas do NDVI apresentam, também, uma variabilidade regional, tendo em vista que, os autores identificaram no Norte da China uma diminuição do NDVI entre os anos 2000 e 2012, enquanto o Leste chines registrou um aumento no mesmo período.

No presente estudo, a correlação fraca entre NDVI e precipitação pode estar associada com o atraso da resposta da vegetação ao regime hídrico. Lucas e Schuler (2007), por exemplo, observaram que a chuva do mês anterior teve mais influência no NDVI do que a do mês atual, evidenciando essa defasagem. Além disso, eventos climáticos como El Niño e La Niña alteram os padrões de precipitação e a disponibilidade hídrica, afetando indiretamente a vegetação. Souto et al. (2019) destacam que esses eventos podem manter o NDVI elevado mesmo após o período chuvoso ou, o inverso, causar déficits hídricos que reduzem a biomassa vegetal, explicando correlações fracas ou até mesmo negativas.

Outro fator que interfere na correlação entre o NDVI e a precipitação é o uso da terra. O uso da terra, principalmente pelo avanço da agricultura, especialmente da soja, ou seja, a conversão de vegetação nativa em monoculturas altera a retenção de umidade do solo e modifica o ciclo fenológico das plantas, tornando-as mais dependentes do manejo agrícola do que das chuvas naturais. Soares et al. (2020) analisaram o comportamento do NDVI em Sorriso, Mato Grosso, a maior produtora individual de soja do mundo, e observaram que a rápida expansão da cultura influenciou a cobertura vegetal e variáveis climáticas locais. Os autores sugerem que esse avanço pode estar tornando a relação entre NDVI e a precipitação menos previsível. Da mesma forma, Souto et al. (2019) identificaram que na bacia do Rio Iriri, a variação sazonal da precipitação nem sempre refletia no NDVI, especialmente em áreas desmatadas ou convertidas para agricultura. As duas pesquisas convergem para a hipótese de que o avanço da soja e outras culturas podem estar dissociando a resposta do NDVI da precipitação, explicando o ocorrido nesta pesquisa, visto que a área de estudo também está passando por grande avanço da agricultura.

Nesse contexto, Liu et al. (2021) e Meng et al. (2020) ressaltam que, embora muitos estudos com NDVI foquem em fatores isolados, como temperatura ou precipitação, a evolução da vegetação ocorre a partir de uma dinâmica altamente complexa, marcada pela interação entre múltiplos elementos climáticos e ações antrópicas.

Dessa forma, considerando que as mudanças na vegetação configuram um processo multifatorial, impulsionado tanto por variabilidades climáticas quanto por intervenções humanas, torna-se necessário adotar uma abordagem integrada, que contemple de forma abrangente os diversos fatores capazes de influenciar os valores de NDVI.

Considerações Finais

Este trabalho teve como objetivo analisar as variações do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada em relação à variabilidade climática e às mudanças de uso e cobertura da terra em uma microbacia localizada no sudoeste do estado do Pará. Ao longo da pesquisa, foi possível observar que, entre os anos de 2000 e 2023, houve mudanças significativas na vegetação da região de estudo, especialmente devido à expansão de atividades e formas de ocupação do solo, como a pastagem, o que resultou em uma redução da qualidade da vegetação, refletida na diminuição dos valores do NDVI.

O estudo revelou que a temperatura tem sido um fator importante na degradação da vegetação, com um aumento gradual das temperaturas ao longo dos anos, especialmente em 2023, que apresentou os valores mais altos. Esse comportamento pode estar associado à influência do fenômeno El Niño 2023/2024, que contribuiu para a ocorrência de temperaturas acima da média e redução da precipitação em diferentes áreas da Amazônia. Essa tendência de aumento de temperatura pode ter causado estresse térmico, afetando a saúde da vegetação. Além disso, a precipitação, embora importante, apresentou uma correlação mais fraca com o NDVI, especialmente nos anos mais recentes, em que foi observada uma redução no volume de chuvas.

As mudanças no uso e cobertura da terra, particularmente o aumento das áreas de pastagem, demonstraram uma correlação mais forte com a diminuição do NDVI. A substituição de vegetação nativa por pastagens tem gerado um impacto negativo na qualidade da cobertura vegetal da região. As áreas de floresta preservada, por outro lado, mantiveram valores mais elevados de NDVI, destacando a importância da conservação dessas áreas para a manutenção da vegetação densa e saudável.

A análise do NDVI, em conjunto com essas variáveis, é fundamental para compreender as dinâmicas de uso e cobertura da terra e os impactos das atividades humanas no ambiente local, oferecendo percepções importantes para estratégias de conservação e manejo dos recursos naturais de forma sustentável. Os resultados contribuem para o entendimento dos impactos das mudanças climáticas e do uso da terra sobre a vegetação amazônica, fornecendo subsídios para ações de monitoramento, planejamento territorial e conservação dos recursos naturais em uma das regiões mais estratégicas para o equilíbrio climático global.

Referências

Alves GBM, Loverde-Oliveira SM 2020. Uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para Análise da Distribuição e Vigor da Vegetação no Pantanal Norte. *Geografia (Londrina)* 29(1):175-190. DOI: https://doi.org/10.5433/2447-1747.2020v29n1p175

Amorim L, Ferreira R, Dias M, Souza Jr C, Veríssimo A. Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) – Janeiro de 2025. Belém: Imazon; 2025 [cited 2025 Mar 20]. Available from: https://imazon.org.br/publicacoes/sistema-de-alerta-de-desmatamento-sad-janeiro-de-2025/

Azevedo LS, Barbosa LC 2020. Estudo do índice de vegetação e temperatura da superfície terrestre na Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu (PA) utilizando o Google Earth Engine. Revista de Geociências do Nordeste 6(2):244-256. DOI: https://doi.org/10.21680/2447-3359.2020v6n2ID21984

Barbosa HA 2023. Flash drought and its characteristics in northeastern South America during 2004–2022 using satellite-based products. *Atmosphere* 14(11):1629. DOI: https://doi.org/10.3390/atmos14111629

Barros GB, Bezerra LT, Barbosa DM, Da Silva AFV, Romeiro ALM, Araújo ES 2021. Mecanismos causadores de pressão e impacto ambiental sobre os ecossistemas e florestas nativas. In *Silvicultura e manejo florestal: técnicas de utilização e conservação da natureza*. Vol. 2, Editora Científica LTDA, Rio de Janeiro, p. 233-252.

Bottino MJ et al. 2024. Amazon savannization and climate change are projected to increase dry season length and temperature extremes over Brazil. *Scientific Reports* 14(1):5131. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-55176-5

Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA); Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD) 2024. Painel El Niño 2023-2024: Boletim Mensal nº 08. [S. l.], 12 jun. 2024. https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/painel-el-nino/boletins/mensal/painel-el-nino-boletim-mensal-no-05-1.pdf

Carneiro FS, Pinheiro KAO, Barbosa MT, Rosário RR, Amorim MB, Cordeiro DFJ, Cordeiro Júnior EF, Jesus RCS, Repolho SM, Chagas GFB 2022. Dinâmica do desmatamento ilegal ocorrido em onze anos no estado do Pará-Brasil. *Research, Society and Development* 11(7):e21311728308. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.28308

Chen Y, Ma L, Liu T, Huang X, Sun G 2023. The Synergistic Effect between Precipitation and Temperature for the NDVI in Northern China from 2000 to 2018. *Applied Sciences* 13(14):8425. DOI: https://doi.org/10.3390/app13148425

Costa JMF da, Silveira C da S, Costa AC, Marcos Junior AD, Gonçalves STN 2025. Trend analysis of precipitation extremes in Brazil: the role of atmospheric temperature. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, *60*, e2123-e2123.

Dickmann I, Liotti LC 2024. *Educação ambiental crítica: mudanças climáticas*. Livrologia, Porto Alegre.

Dusenge ME, Duarte AG, Way DA 2019. Plant carbon metabolism and climate change: elevated CO2 and temperature impacts on photosynthesis, photorespiration and respiration. *New Phytologist* 221(1):32-49. DOI: https://doi.org/10.1111/nph.15283

FAPESPA. Estatística Municipal de Novo Progresso. Belém: Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas; 2023 [cited 2025 Mar 27]. Available from: https://www.fapespa.pa.gov.br/wp-content/uploads/2024/04/Novo-Progresso.pdf

Fearnside PM 2006. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazônica* 36:395-400. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000300018

Figueiredo Filho DB, Silva Junior JA 2009. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). *Revista política hoje*, *18*(1), 115-146.

Funk C, Peterson P, Landsfeld M, Pedreros D, Verdin J, Shukla S, Husak G, Rowland J, Harrison L, Hoell A, Michaelsen J 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations — a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data* 2. 150066. DOI: https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66

Gonçalves MF, Blanco CJC, Santos VC 2016. Identification of Rainfall Homogenous Regions taking into account El Niño and La Niña and Rainfall Decrease in the state of Pará, Brazilian Amazon. Acta Scientiarum. Technology 38(2):209-216. DOI: https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v38i2.26534

Hu Y, Dao R, Hu Y 2019. Vegetation change and driving factors: Contribution analysis in the loess plateau of China during 2000–2015. *Sustainability* 11(5):1320. DOI: https://doi.org/10.3390/su11051320

Huang W, Duan W, Chen Y 2021. Rapidly declining surface and terrestrial water resources in Central Asia driven by socio-economic and climatic changes. *Science of the Total Environment* 784:147193. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147193

IPCC 2014. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.

IPCC 2013. IPCC Fifth Assessment Report (AR5) - The physical science basis. doi:10.1017/CBO9781107415324.004

Jiao K, Gao J, Liu Z 2021. Precipitation drives the NDVI distribution on the Tibetan Plateau while high warming rates may intensify its ecological droughts. Remote Sensing 13(7):1305. DOI: https://doi.org/10.3390/rs13071305

Joiner J, Yoshida Y, Anderson M, Holmes T, Hain C, Reichle R, Koster R, Middleton E, Zeng F. 2018. Global relationships among traditional reflectance vegetation indices (NDVI and NDII), evapotranspiration (ET), and soil moisture variability on weekly timescales. *Remote Sensing of Environment* 219:339-352. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.020

Klingler M, Richards PD, Ossner R 2018. Cattle vaccination records question the impact of recent zero-deforestation agreements in the Amazon. *Regional Environmental Change* 18:33-46. DOI: https://doi.org/10.1007/s10113-017-1234-1

Kumar V, Bharti B, Singh HP, Topno AR 2023. Assessing the interrelation between NDVI and climate dependent variables by using granger causality test and vector auto-regressive neural network model. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 131:103428. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pce.2023.103428

Leite ED, Costa CLA, Oliveira RS, Cavalcante HCC 2023. Impactos ambientais causados pelo desmatamento no Brasil. *Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo* 8(1):19-38.

Li X, Xu J, Jia Y, Liu S, Jiang Y, Yuan Z, Du H, Han R, Ye Y 2024. Spatio-temporal dynamics of vegetation over cloudy areas in Southwest China retrieved from four NDVI products. *Ecological Informatics* 81:102630. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102630

Lin X, Niu J, Berndtsson R, Yu X, Zhang L, Chen X 2020. NDVI dynamics and its response to climate change and reforestation in northern China. *Remote Sensing of Environment* 12(24):4138. DOI: https://doi.org/10.3390/rs12244138

Liu Y, Tian J, Liu R, Ding L 2021. Influences of climate change and human activities on NDVI changes in China. *Remote Sensing of Environment* 13(21):4326. DOI: https://doi.org/10.3390/rs13214326

Lopes ACL, Freitas AVM, Costa DO, Beltrão NES, Tavares PA 2017. Análise da distribuição de focos de calor no município de Novo Progresso, Pará. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 12(2):298-303. DOI: https://doi.org/10.18378/rvads.v12i2.4843

Lucas AA, Schuler CAB 2007. Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata Atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 11:607-614. DOI: https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000600009

Lykhovyd P, Vozhehova RA, Hranovska LM, Bidnyna IO 2024. The link between the normalized difference vegetation index in major crops and meteorological factors. *Agrology* 7(2):39-45. DOI: https://doi.org/10.32819/202406

Ma B, Liu X, Tong Z, Zhang J, Wang X 2024. Coupled Effects of High Temperatures and Droughts on Forest Fires in Northeast China. *Remote Sensing* 16(20):3784. DOI: https://doi.org/10.3390/rs16203784

Mahesh R, Neelakantan R, Anbalagan R, Das A 2022. Spatio-Temporal Assessment of Land use / Land cover using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of Satellite Imageries and its relationship with Landslide-prone Zones in Kodaikanal Hill Station of Tamil Nadu, India. *Disaster Advances* 15(10):35-41. DOI: https://doi.org/10.25303/1510da035041

MapBiomas 2024. RAD2023: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2023. São Paulo: MapBiomas. http://alerta.mapbiomas.org

Marques EQ, Silvério DV, Galvão LS, Aragão LEOC, Uribe MR, Macedo MN, Rattis L, Alencar AAC, Brando PM. 2024. Assessing the effectiveness of vegetation indices in detecting forest disturbances in the southeast Amazon. *Scientific Reports*, 14:27287. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-77924-3

Mehmood K, Anees SA, Rehman A, Pan S, Tariq A, Zubair M, Liu Q, Rabbi F, Khan KA, Luo M 2024. Exploring spatiotemporal dynamics of NDVI and climate-driven responses in ecosystems: Insights for sustainable management and climate resilience. *Ecological Informatics* 80:102532. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102532

Mendes AM, dos Santos ESR 2019. Relação entre fatores antrópicos/climáticos com os casos de Hantavirose no Município de Novo Progresso/PA. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research* 2(4):1161-1173.

Meng X, Gao X, Li S, Lei J 2020. Spatial and temporal characteristics of vegetation NDVI changes and the driving forces in Mongolia during 1982–2015. *Remote Sensing of Environment* 12(4):603. DOI: https://doi.org/10.3390/rs12040603

Miranda RS, Nogueira LR, Alves AM, Costa MS, Amador MF 2021. Análise do desmatamento nos períodos de 2016 a 2020 na mesorregião sudeste paraense. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação* 7(5):498-517. DOI: https://doi.org/10.51891/rease.v7i5.1209

Morshed SR, Fattah A, Rimi AA, Haque N 2020. Surface temperature dynamics in response to land cover transformation. *Journal of Civil Engineering, Science and Technology* 11(2):94-110.

Moura YM, Galvão LS, Aragão LEOC, Sanches IDA, Hilker T 2023. Coupled effects of solar illumination and phenology on vegetation index determination: an analysis over the Amazonian forests using the SuperDove satellite constellation. *GIScience & Remote Sensing*. DOI: https://doi.org/10.1080/15481603.2023.2290354

Nascimento N, West TAP, Biber-Freudenberger L, Sousa-Neto ER de, Ometto J, Börner JA 2020. Bayesian network approach to modelling land-use decisions under environmental policy incentives in the Brazilian Amazon. Journal of Land Use Science, v. 15, n. 2-3, p. 127-141. DOI: https://doi.org/10.1080/1747423X.2019.1709223.

Nascimento N, West TAP, Börner J, Ometto J 2019. What Drives Intensification of Land Use at Agricultural Frontiers in the Brazilian Amazon? Evidence from a Decision Game. Forests, v. 10, n. 6, p. 464. DOI: https://doi.org/10.3390/f10060464.

Pei Z, Fang S, Yang W, Wang L, Wu M, Zhang Q, Han W, Khoi DN 2019. The relationship between NDVI and climate factors at different monthly time scales: a case study of grasslands in inner Mongolia, China (1982–2015). *Sustainability* 11(24):7243. DOI: https://doi.org/10.3390/su11247243

Piedallu C, Chéret V, Denux JP, Perez V, Azcona JS, Seynave I, Gégout JC 2019. Soil and climate differently impact NDVI patterns according to the season and the stand type. *Science of the Total Environment* 651:2874-2885. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.052

Pirani M, Lorenz C, de Azevedo TS, Barbosa GL, Blangiardo M, Chiaravalloti-Neto F 2024. Effects of the El Niño-Southern Oscillation and seasonal weather conditions on Aedes aegypti infestation in the State of São Paulo (Brazil): A Bayesian spatio-temporal study. *PLoS neglected tropical diseases*, *18*(9), e0012397.

Rosário RR, Barbosa MT, Carneiro FS, Costa MSS 2021. Uso e ocupação do solo do município de novo progresso no Estado do Pará-Brasil. Research, Society and Development 10(1):e51210112060. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.12060

Rouse JW Jr, Haas RH, Schell JA, Deering DW 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA. *Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symp.* Vol. 1, Sect. A.

Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317.

Sales ESG, Araújo FS, Matsunaga WK, Brito JI 2023. Relação do NDVI e EVI com os índices climáticos do Nordeste do Brasil. *Geoambiente On-line* (47).

Salgado CB, Carvalho Jr OA, Gomes RAT, Guimarães RF 2023. Análise da interferência de nuvens na classificação de séries temporais MODIS-NDVI na região da Amazônia, município de Capixaba, Acre. *Sociedade & Natureza* 31:e47062. DOI: http://dx.doi.org/10.14393/SN-v31-2019-47062

Santos GG 2021. Detecção e análise de focos de calor no município de Novo Progresso (PA) entre os anos de 2016 e 2019. In *Ambiente & Sociedade: concepções, fundamentos, diálogos e práticas para conservação da natureza*. Editora Científica Digital, p. 206-217.

Soares J, Danelichen VHM, Pereira OA, Martins AL 2020. Estudo da dinâmica espaço-temporal do NDVI no Município de Sorriso-MT. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13(2):834-841. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p834-841

Souto JI, Trindade AR, Tavares PA, Beltrão, NES, Pontes NA 2019. Padrões temporais da precipitação e variabilidade da vegetação sobre a bacia do rio Iriri em anos de ocorrência do El Niño Oscilação Sul. *Revista Brasileira de Geografia Física* 12(3):789-800. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p789-800

Souza MB, Mesquita ALC, Silva Junior OM, Cardoso PM, Ruivo MLP, Paiva PFPR 2022. Dinâmica de uso e ocupação da terra no município de Novo Repartimento, Pará. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 17(2):143-148. DOI: https://doi.org/10.18378/rvads.v17i2.9218

Spruce JP, Gasser GE, Hargrove WW. MODIS NDVI data, smoothed and gap-filled, for the conterminous US: 2000–2015 [database on the Internet]. Oak Ridge (TN): ORNL DAAC; 2016 [cited 2024 Sep 8]. Available from: http://dx.doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1299

Tucker CJ 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 8(2), 127–150. DOI: https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0

Vale JRB 2020. Análise Temporal Das Atividades Agropastoris Nas Áreas Desflorestadas Do Estado Do Pará-Brasil. *Geographia Opportuno Tempore* 6(2):43-55. DOI: https://doi.org/10.5433/got.2020.v6.40002

Wan Z. MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1km SIN Grid V061 [database on the Internet]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center; 2021 [cited 2024 Nov 5]. Available from: https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD11A2.061

Wang Z, Han F, Li C, Li K, Wang Z 2024. Analysis of Spatial Differentiation of NDVI and Climate Factors on the Upper Limit of Montane Deciduous Broad-Leaved Forests in the East Monsoon Region of China. *Forests* 15(5):863. DOI: https://doi.org/10.3390/f15050863

Wulder MA, Roy DP, Radeloff VC, Loveland TR, Anderson MC, Johnson DM, Healey S, Zhu Z, Scambos TA, Pahlevan N, Hansen M, Gorelick N, Crawford CJ, Masek JG, Hermosilla T, White JC, Belward AS, Schaaf C, Woodcock CE, Huntington JL, Lymburner L, Hostert P, Gao F, Lyapustin A, Pekel JF, Strobl P, Cook BD 2022. Fifty years of Landsat science and impacts. *Remote Sensing of Environment* 280:113195. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113195

Zewdie W, Csaplovics E, Inostroza L 2017. Monitoring ecosystem dynamics in northwestern Ethiopia using NDVI and climate variables to assess long term trends in dryland vegetation variability. *Applied Geography* 79:167-178. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.019

Ziccardi LG, Yanai AM, Fearnside PM, Stark SC 2024. Deforestation in the Brazilian Amazon: Threats and opportunities. *Unpublished observations*. DOI: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4591425/v1