

**SECA NA BACIA DO RIO PARNAÍBA EM 2025: MONITORAMENTO
SISTEMÁTICO COM ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO E
REFERÊNCIA CLIMATOLÓGICA HISTÓRICA (2000-2024)**

**DROUGHT IN THE PARNAÍBA RIVER BASIN IN 2025: SYSTEMATIC
MONITORING WITH SPECTRAL VEGETATION INDICES AND
HISTORICAL CLIMATOLOGICAL REFERENCE (2000–2024)**

Reurysson Chagas de Sousa Morais¹ e Mauro César de Brito Sousa²

¹ Instituto Federal do Piauí – Campus Teresina Central; reurysson@ifpi.edu.br; ORCID: 0000-0002-1334-4182

² Instituto Federal do Piauí – Campus Teresina Zona Sul; mauro.sousa@ifpi.edu.br; ORCID: 0000-0002-0650-

6577

Recebido: 30/04/2026

Publicado: 24/05/2026

DOI: [10.29327/261865.6.1-8](https://doi.org/10.29327/261865.6.1-8)

RESUMO

A seca é um fenômeno recorrente no Nordeste brasileiro, com impactos significativos sobre os recursos hídricos, a agropecuária e as populações locais. Este estudo teve como objetivo monitorar a distribuição espacial e temporal da seca na bacia hidrográfica do Rio Parnaíba durante o segundo semestre de 2025, utilizando índices espectrais de vegetação derivados de imagens do satélite TERRA/MODIS e ferramentas de computação em nuvem. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi obtido a partir do produto MOD13Q1, com resolução espacial de 250 m e resolução temporal de 16 dias. O Standard Vegetation Index (SVI) foi calculado em relação à climatologia quinzenal histórica do período de 2000 a 2024, expressando a anomalia do NDVI em desvios padrão em relação ao padrão histórico de cada quinzena monitorada. O processamento foi realizado na plataforma Google Earth Engine, e os mapas temáticos foram elaborados no software QGIS 3.38, com automação do processo de geração do atlas cartográfico via scripts PyQGIS. Foram geradas 13 composições quinzenais de NDVI e SVI, cobrindo o período de junho a dezembro de 2025. Os resultados revelaram padrões espaciais de seca coerentes com a heterogeneidade climática e de uso da terra da bacia, com predomínio de anomalias negativas severas nas porções central e sul entre setembro e novembro e recuperação generalizada em dezembro, associada ao início da estação chuvosa.

Palavras-chave: Bacia do Rio Parnaíba, Google Earth Engine, MODIS MOD13Q1, Monitoramento de seca, Standard Vegetation Index.

ABSTRACT

Drought is a recurrent phenomenon in the Brazilian Northeast, with significant impacts on water resources, agriculture, and local populations. This study aimed to monitor the spatial and temporal distribution of drought in the Parnaíba River basin during the second half of 2025, using spectral vegetation indices derived from TERRA/MODIS satellite imagery and cloud computing tools. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was obtained from the MOD13Q1 product, with

SECA NA BACIA DO RIO PARNAÍBA EM 2025: MONITORAMENTO SISTEMÁTICO COM ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO E REFERÊNCIA CLIMATOLÓGICA HISTÓRICA (2000-2024)

250 m spatial resolution and 16-day temporal resolution. The Standard Vegetation Index (SVI) was calculated against a historical biweekly climatology of the 2000–2024 period, expressing NDVI anomalies in standard deviations relative to the historical pattern of each monitored composition. Processing was performed on the Google Earth Engine platform, and thematic maps were produced using QGIS 3.38, with automated atlas generation via PyQGIS scripts. Thirteen biweekly NDVI and SVI compositions were generated, covering June to December 2025. Results revealed spatial drought patterns consistent with the climatic and land-use heterogeneity of the basin, with predominance of severe negative anomalies in the central and southern portions between September and November, and widespread recovery in December associated with the onset of the rainy season.

Keywords: Drought monitoring, Google Earth Engine, MODIS MOD13Q1, Parnaíba River Basin, Standard Vegetation Index.

1 Introdução

A seca é um dos fenômenos climáticos de maior impacto sobre os sistemas naturais e socioeconômicos, caracterizando-se pela deficiência prolongada de precipitação em relação a um valor médio histórico de referência (NDMC, 2020). No Brasil, especialmente na região Nordeste, a seca é um desafio recorrente, com consequências significativas sobre a agropecuária, os recursos hídricos e as populações locais (Marengo; Cunha; Alves, 2016; Bragança, 2018; Santana; Santos, 2020). Wilhite e Glantz (1985) categorizaram as secas em quatro tipos: meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica, evidenciando a complexidade do fenômeno e a necessidade de abordagens multidimensionais para seu monitoramento e gestão.

A bacia hidrográfica do Rio Parnaíba, localizada no Nordeste brasileiro e abrangendo os estados do Piauí, Maranhão e Ceará, constitui um território de especial relevância para o estudo da seca. Com área aproximada de 330.000 km², a bacia apresenta marcada heterogeneidade climática e fisionômica, distribuída entre os biomas Caatinga e Cerrado, e concentra uma diversidade de atividades econômicas que incluem a agricultura familiar tradicional, predominante na porção semiárida, e a agricultura empresarial de larga escala, em franca expansão na porção oeste, inserida na fronteira agrícola do MATOPIBA (Rivas, 1996; Santos; Naval, 2022; Cerqueira; Gomes, 2023). Essa combinação de vulnerabilidade climática e pressão antrópica torna o monitoramento contínuo da seca uma ferramenta essencial para a gestão sustentável dos recursos naturais da região.

O avanço das tecnologias de sensoriamento remoto e da computação em nuvem ampliou significativamente as possibilidades de monitoramento da seca em escalas

espaciais e temporais detalhadas, especialmente em regiões com baixa densidade de estações meteorológicas, como o Nordeste brasileiro. Nesse contexto, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) tem sido amplamente utilizado como indicador indireto da seca agrícola e ecológica, por sua sensibilidade ao déficit hídrico e sua disponibilidade em séries temporais longas e consistentes (Kubiak-Wójcicka; Pilarska; Kamiński, 2024; Leivas *et al.*, 2014).

O Standard Vegetation Index (SVI), proposto por Peters *et al.* (2002), aprimora essa abordagem ao expressar o NDVI como anomalia em relação a uma climatologia histórica de referência, com formulação análoga ao Índice de Precipitação Padronizado (SPI), o que facilita a classificação da severidade da seca e a comparabilidade temporal dos resultados (Sousa Júnior; Lacruz, 2015; Rotjanakusol; Laosuwan, 2019).

Apesar da reconhecida importância da bacia do Rio Parnaíba para o Nordeste brasileiro, estudos de monitoramento sistemático da seca com base em índices espectrais de vegetação e séries temporais longas ainda são escassos para essa região. A baixa densidade de estações meteorológicas, aliada à extensão territorial da bacia e à heterogeneidade de seus regimes climáticos, reforça a pertinência do uso de dados orbitais para suprir essa lacuna (Sousa Júnior; Lacruz, 2015).

Diante disso, este trabalho teve como objetivo monitorar a distribuição espacial e temporal da seca na bacia hidrográfica do Rio Parnaíba durante o segundo semestre de 2025 – período que coincide com a estação de estiagem na região –, utilizando o NDVI e o SVI derivados do produto MOD13Q1 do sensor MODIS, processados na plataforma Google Earth Engine. Os objetivos específicos foram: calcular o NDVI em composições quinzenais a partir do produto MOD13Q1; calcular o SVI em relação à climatologia histórica do NDVI para o período de 2000 a 2024; e disponibilizar os mapas quinzenais da condição de seca em repositório público de acesso aberto.

Este trabalho apresenta uma abordagem metodologicamente robusta e reproduzível para o monitoramento da seca em bacias hidrográficas de grande extensão, integrando o Google Earth Engine ao QGIS com automação via scripts PyQGIS. O uso da climatologia histórica do NDVI (2000–2024) como referência para o cálculo do SVI representa um avanço em relação a abordagens intra-anuais, garantindo comparabilidade temporal entre diferentes anos de monitoramento. Os resultados contribuem para o entendimento da dinâmica espaço-temporal da seca na bacia do Parnaíba e fornecem subsídios para a gestão dos recursos hídricos e o planejamento de políticas públicas de convivência com a seca na região. Como desdobramentos, prevê-se a continuidade do

SECA NA BACIA DO RIO PARNAÍBA EM 2025: MONITORAMENTO SISTEMÁTICO COM ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO E REFERÊNCIA CLIMATOLÓGICA HISTÓRICA (2000-2024)

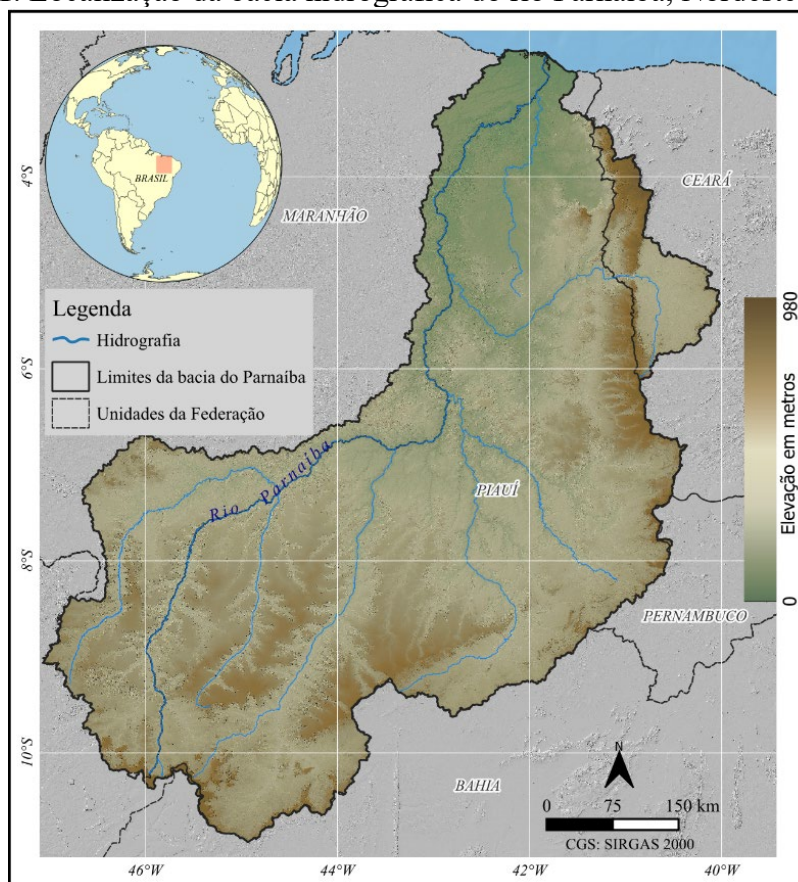
monitoramento nos anos subsequentes, utilizando a mesma climatologia de referência. Uma ferramenta de visualização interativa baseada no Google Earth Engine Apps encontra-se disponível para acompanhamento público do status da seca na bacia de forma sistemática e quinzenal (Morais, 2025).

2 Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Parnaíba localiza-se no Nordeste brasileiro, abrangendo os estados do Piauí, Maranhão e Ceará, entre as coordenadas aproximadas de 2°S a 10°S e 40°W a 47°W, com área de drenagem de aproximadamente 330.000 km² (ANA, 2017) (Figura 1). Trata-se da maior bacia hidrográfica inteiramente localizada no Nordeste brasileiro, com importância estratégica para o abastecimento hídrico, a produção agropecuária e a manutenção dos ecossistemas da região.

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Parnaíba, Nordeste do Brasil.



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

A bacia apresenta heterogeneidade climática, com predomínio do clima semiárido na porção leste e sudeste, caracterizado por precipitações médias anuais inferiores a 800 mm e alta irregularidade pluviométrica, e clima subúmido a úmido nas porções norte e oeste, onde as precipitações podem superar 1.600 mm anuais (Morais; Abreu, 2021). Essa variabilidade climática condiciona a distribuição dos dois biomas predominantes na bacia: a Caatinga, que ocupa a porção leste e sudeste, e o Cerrado, predominante na porção oeste e norte, com zonas de transição entre os dois biomas na porção central.

Do ponto de vista socioeconômico, a bacia concentra uma diversidade de atividades produtivas. Na porção leste e sudeste, predominam a pecuária extensiva e a agricultura familiar, atividades historicamente vulneráveis aos eventos de seca prolongada (Santana; Santos, 2020). Na porção oeste, a bacia está inserida na fronteira agrícola do MATOPIBA (acrônimo formado pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), onde a expansão do agronegócio, com destaque para a produção de soja, tem promovido transformações expressivas no uso e cobertura da terra nas últimas décadas com impactos sobre os ecossistemas (Araújo *et al.*, 2019; Calmon, 2022; Fernandes *et al.*, 2023).

2.2 Dados e métodos

O limite da bacia utilizado neste estudo foi obtido junto à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), com adaptações para inclusão das bacias difusas de leste e oeste na região litorânea, realizadas a partir da análise de modelos digitais de elevação (ANA, 2017).

O monitoramento quinzenal da seca foi realizado a partir do cálculo do NDVI e do SVI, utilizando imagens do produto MOD13Q1 do sensor MODIS, a bordo do satélite TERRA/NASA. O MOD13Q1 fornece composições de 16 dias com resolução espacial de 250 m, geradas pelo algoritmo de Valor Máximo de Composição (MVC), que seleciona o pixel de melhor qualidade radiométrica dentro da janela temporal, minimizando a interferência de nuvens (Didan, 2021). A opção por esse produto em detrimento de imagens de maior resolução espacial, como o Sentinel-2 ou Landsat, foi motivada por três fatores: a extensão da bacia (~330.000 km²), que demandaria o mosaico de dezenas de cenas por composição; a persistência de cobertura de nuvens em algumas regiões da bacia durante o período de estiagem, que comprometeria a disponibilidade de

SECA NA BACIA DO RIO PARNAÍBA EM 2025: MONITORAMENTO SISTEMÁTICO COM ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO E REFERÊNCIA CLIMATOLÓGICA HISTÓRICA (2000-2024)

dados quinzenais; e a consistência temporal da série histórica do MODIS desde 2000, indispensável para o cálculo da climatologia de referência do SVI (Sousa Júnior *et al.*, 2011).

O processamento foi realizado na plataforma Google Earth Engine –GEE (Gorelick *et al.*, 2017), ambiente de computação em nuvem que permite o acesso e processamento de grandes coleções de dados de sensoriamento remoto sem necessidade de download local. O NDVI foi obtido diretamente da banda correspondente do produto MOD13Q1, escalonada pelo fator de conversão de 0,0001, conforme especificação do produto (Equação 1):

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

Para o cálculo do SVI, foi construída uma climatologia quinzenal de referência a partir da série histórica do MOD13Q1 para o período de 2000 a 2024. Para cada composição monitorada em 2025, foram selecionadas todas as imagens da série histórica correspondentes ao mesmo dia do ano (DOY), com janela de ± 8 dias, equivalente a uma composição de 16 dias. A partir desse subconjunto histórico, foram calculados a média (μ) e o desvio padrão (σ) pixel a pixel, utilizados como referência para o cálculo do SVI (Equação 2):

$$SVI = \frac{(NDVI_{quinzenal} - \mu_{histórico})}{\sigma_{histórico}} \quad (2)$$

Essa abordagem garante que a anomalia expressa pelo SVI seja relativa ao comportamento histórico da vegetação no mesmo período do ano, reduzindo o efeito da sazonalidade e permitindo comparabilidade temporal entre diferentes anos de monitoramento. A classificação do NDVI adotada neste estudo é apresentada no Quadro 1. Na classificação do SVI adotou-se a proposta de Sousa Júnior e Lacruz (2015), com sete classes definidas com intervalos fechados no limite inferior, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 1 – Classificação do NDVI adotada no monitoramento.

Intervalo	Classe
< 0,0	Água / Solo exposto
0,0 – 0,2	Vegetação rala
0,2 – 0,4	Vegetação esparsa
0,4 – 0,6	Vegetação moderada
0,6 – 0,8	Vegetação densa
0,8 – 1,0	Vegetação muito densa

Os resultados foram exportados do GEE em formato GeoTIFF multibanda – denominados stacks –, organizados em três produtos: Stack NDVI (13 bandas), Stack SVI (13 bandas) e Stack de Estatísticas Climatológicas (26 bandas, contendo média e desvio padrão para cada quinzena da série histórica 2000–2024). A elaboração dos mapas temáticos foi realizada no software QGIS 3.38, com automação do processo de geração do atlas cartográfico por meio de scripts desenvolvidos em PyQGIS.

Quadro 2 – Classificação do SVI adotada no monitoramento.

Intervalo (σ)	Classe
$\sigma < -2,00$	Extremamente seco
$-2,00 \leq \sigma < -1,50$	Severamente seco
$-1,50 \leq \sigma < -1,00$	Moderadamente seco
$-1,00 \leq \sigma < 1,00$	Normal
$1,00 \leq \sigma < 1,50$	Moderadamente úmido
$1,50 \leq \sigma < 2,00$	Severamente úmido
$\sigma \geq 2,00$	Extremamente úmido

Fonte: adaptado de Sousa Júnior e Lacruz (2015).

Todos os dados, scripts e produtos gerados estão disponibilizados publicamente no repositório Open Science Framework, acessível pelo DOI <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/8RWQG>. Adicionalmente, os resultados podem ser visualizados de forma interativa na plataforma Google Earth Engine Apps, disponível em: <https://ee-reurysson.projects.earthengine.app/view/secaparnaiba>.

3 Resultados e Discussão

A análise temporal dos mapas quinzenais de NDVI e SVI, apresentados respectivamente nas Figuras 2 e 3 para sete composições representativas do período monitorado (10/06, 12/07, 13/08, 14/09, 16/10, 17/11 e 19/12/2025), revelou padrões espaciais e temporais coerentes com a heterogeneidade climática e de uso da terra da bacia do Rio Parnaíba. A série completa dos 13 mapas quinzenais está disponível no repositório público OSF (<https://doi.org/10.17605/OSF.IO/8RWQG>).

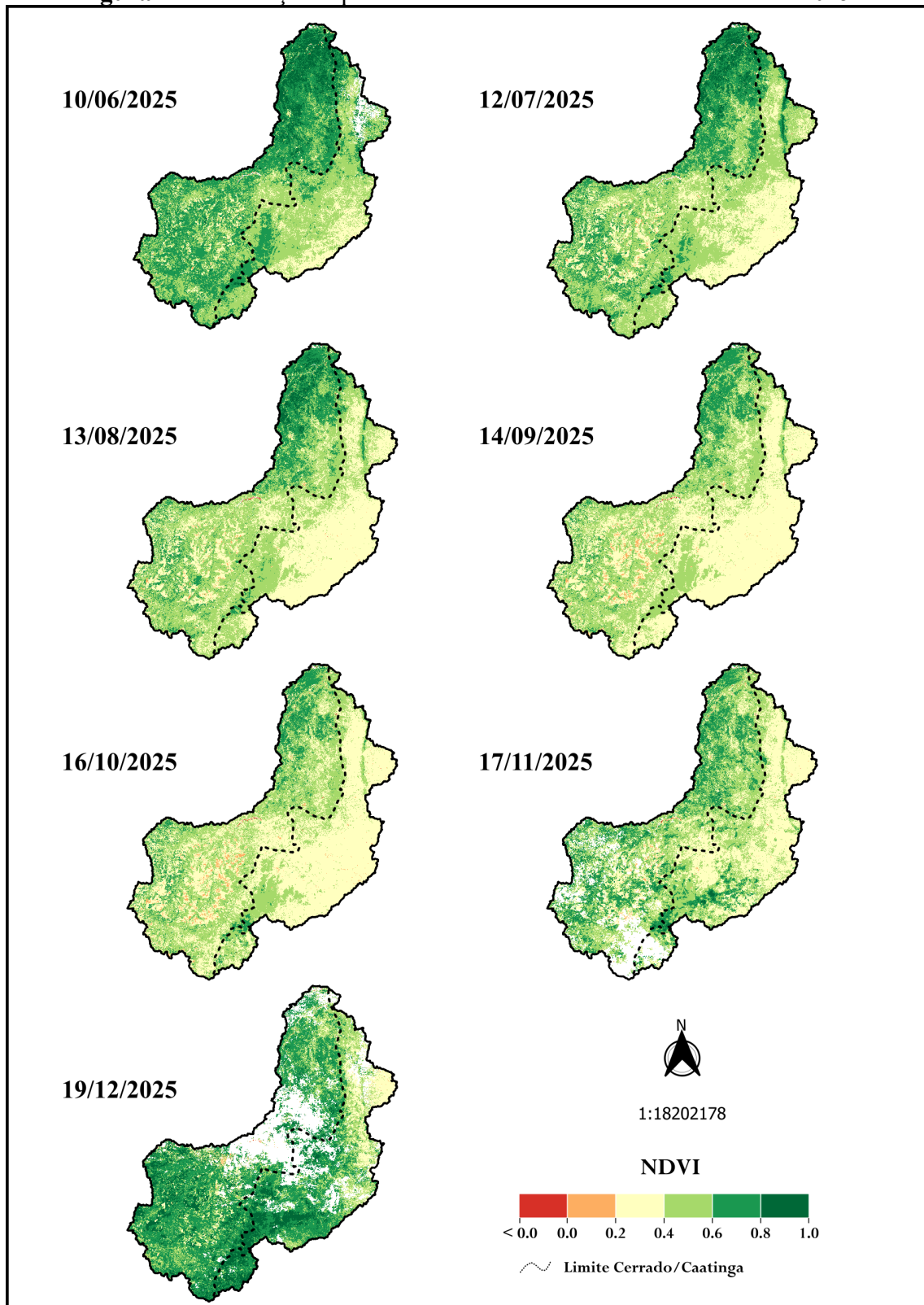
3.1 Distribuição espacial e temporal do NDVI

O NDVI médio da bacia do Rio Parnaíba apresentou variação temporal expressiva ao longo do segundo semestre de 2025, refletindo a dinâmica sazonal

SECA NA BACIA DO RIO PARNAÍBA EM 2025: MONITORAMENTO SISTEMÁTICO COM ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO E REFERÊNCIA CLIMATOLÓGICA HISTÓRICA (2000-2024)

característica das fitofisionomias predominantes na área de estudo (Figura 2).

Figura 2. Distribuição espacial do NDVI na bacia do Rio Parnaíba – 2025.



Fonte: elaborado pelos autores a partir de dados MODIS MOD13Q1/NASA.

No início do período monitorado, em junho, os valores de NDVI indicavam predomínio de vegetação esparsa a moderada na porção central e leste da bacia, com NDVI entre 0,2 e 0,4, característico da Caatinga em período de estiagem, quando a perda foliar reduz significativamente a resposta espectral da vegetação (Ponzoni; Shimabukuro; Kuplich, 2012). As porções norte, centro-oeste e sul apresentavam valores superiores a 0,6, refletindo condições climáticas distintas: no norte, a influência dos remanescentes da estação chuvosa associada à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); no centro-oeste e sul, a umidade residual do período chuvoso anterior, característica dos regimes pluviométricos do Cerrado e do alto curso do Parnaíba (Cavalcanti *et al.*, 2009; Morais; Abreu, 2021).

Ao longo das composições quinzenais, observou-se uma tendência progressiva de redução dos valores de NDVI na porção central, leste e sudeste da bacia entre junho e outubro, associada ao aprofundamento do período de estiagem. Esse comportamento é consistente com o padrão fenológico da Caatinga, bioma adaptado à sazonalidade hídrica extrema, cuja resposta espectral é fortemente controlada pela disponibilidade de água no solo (Myneni; Williams, 1994).

A partir de novembro, registrou-se uma inflexão positiva nos valores de NDVI, com expansão progressiva das classes de vegetação moderada a densa (NDVI entre 0,4 e 0,8) em direção ao interior da bacia, sinalizando o início da estação chuvosa e a consequente rebrota da vegetação. Esse padrão de recuperação se consolidou nas composições de dezembro, quando grande parte da bacia já apresentava valores de NDVI superiores a 0,6, à exceção de núcleos localizados na porção leste semiárida, onde a resposta da vegetação ao início das chuvas tende a ser mais lenta em função da maior irregularidade pluviométrica.

A análise espacial revelou padrão de diferenciação consistente entre as fitofisionomias predominantes na bacia. Na porção oeste e noroeste, sob domínio do Cerrado, os valores de NDVI mantiveram-se relativamente elevados mesmo durante o período de estiagem, situando-se predominantemente entre 0,4 e 0,8, o que reflete a maior profundidade do sistema radicular dessas formações vegetais e sua capacidade de acessar água em horizontes mais profundos do solo durante a seca (Oliveira *et al.*, 2005). Em contraste, as áreas dominadas pela Caatinga, concentradas na porção leste e sudeste, apresentaram os menores valores de NDVI do período, frequentemente inferiores a 0,4 entre agosto e outubro, evidenciando a caducifolia característica desse bioma como resposta adaptativa ao déficit hídrico sazonal (Sampaio, 1995).

SECA NA BACIA DO RIO PARNAÍBA EM 2025: MONITORAMENTO SISTEMÁTICO COM ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO E REFERÊNCIA CLIMATOLÓGICA HISTÓRICA (2000-2024)

Um padrão espacialmente distinto foi identificado na porção sudoeste da bacia, inserida no MATOPIBA, onde predominam extensas áreas de monocultura de soja. Nessa região, os baixos valores de NDVI registrados entre junho e outubro, frequentemente inferiores a 0,2, semelhantes aos observados na Caatinga, não podem ser atribuídos exclusivamente ao déficit hídrico, mas refletem sobretudo o ciclo produtivo da soja, cujo período de pousio coincide com a estação seca (Spera *et al.*, 2016).

A partir de novembro, com o retorno das chuvas e o início do replantio, observou-se recuperação expressiva dos valores de NDVI nessa região, padrão consistente com a emergência e desenvolvimento inicial da cultura. Essa dinâmica reforça a necessidade de interpretar os índices espectrais de vegetação em conjunto com informações sobre uso e cobertura da terra e dados climáticos, especialmente em bacias sob intensa pressão do agronegócio (Morais, 2021).

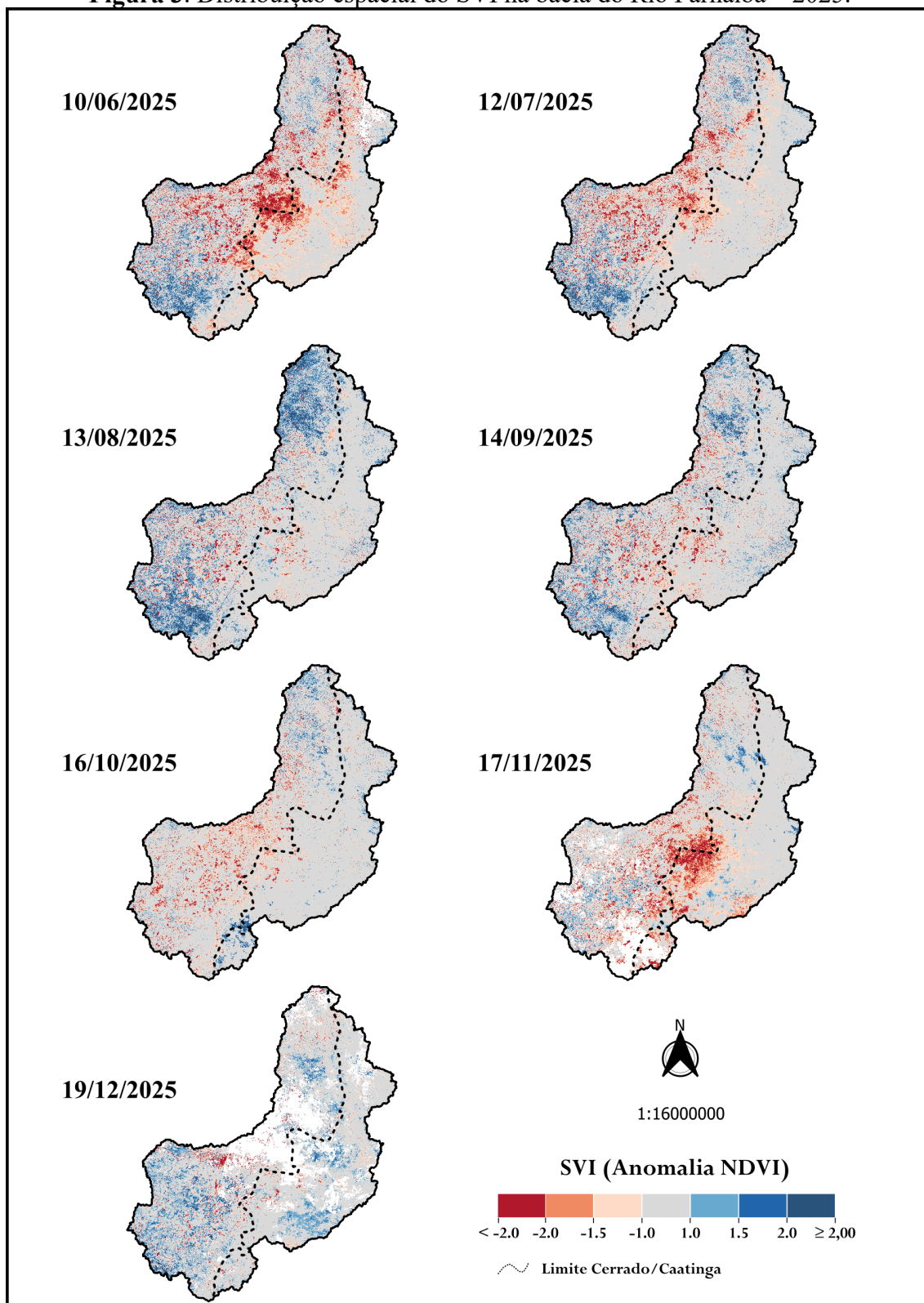
3.2 Distribuição espacial e temporal da seca pelo SVI

O SVI revelou padrão espacial e temporal de anomalia negativa com dinâmica distinta ao longo do período monitorado. Em junho e julho, as maiores anomalias negativas concentraram-se na porção central e centro-sudoeste da bacia, enquanto a porção leste e sudeste apresentou condições predominantemente normais (Figura 3).

A partir de agosto, observou-se aparente predominância de condições de normalidade e anomalia positiva em boa parte da bacia, padrão que requer interpretação cuidadosa por refletir a natureza relativa do SVI. Por comparar o NDVI quinzenal com a climatologia histórica do mesmo período do ano, o índice não mede o déficit hídrico em termos absolutos, mas a anomalia em relação ao comportamento histórico de cada quinzena (Sousa Júnior; Lacruz, 2015). Em agosto, período historicamente mais seco da bacia, mesmo valores de NDVI baixos podem resultar em SVI próximo de zero ou positivo, caso se situem acima da média histórica para essa época.

Na porção norte e noroeste, sob domínio do Cerrado, as anomalias positivas observadas em agosto refletem a manutenção de NDVI acima do padrão histórico para o período, possivelmente associada à influência residual da ZCIT (Morais; Abreu, 2021). Na porção sudoeste do MATOPIBA, o padrão de normalidade a umidade moderada está relacionado ao ciclo agrícola da soja, cujo período de pousio em 2025 gerou valores de NDVI similares ao histórico de agosto para essa região (Spera *et al.*, 2016).

Figura 3. Distribuição espacial do SVI na bacia do Rio Parnaíba – 2025.



Fonte: elaborado pelos autores a partir de dados MODIS MOD13Q1/NASA.

Os núcleos persistentes de seca extrema no centro-sul nesse período indicam que nesses locais o déficit superou o padrão histórico mesmo para o mês mais seco do ano,

SECA NA BACIA DO RIO PARNAÍBA EM 2025: MONITORAMENTO SISTEMÁTICO COM ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO E REFERÊNCIA CLIMATOLÓGICA HISTÓRICA (2000-2024)

sinalizando a severidade excepcional do evento. A partir de setembro, a condição de seca intensificou-se progressivamente em toda a bacia, culminando em novembro com o registro de seca extrema ($\sigma < -2,00$) na região centro-sul, a composição com maior extensão de anomalia negativa severa ao longo de toda a série monitorada.

Em dezembro, com o retorno das chuvas, observou-se recuperação generalizada para condições de normalidade na maior parte da bacia. Pequenos núcleos persistentes de seca extrema registrados em toda a extensão da bacia, em contexto de período chuvoso já estabelecido, podem estar associados à contaminação residual por nuvens não eliminada pelo algoritmo MVC do produto MOD13Q1, limitação inerente ao uso de dados orbitais em regiões com alta nebulosidade sazonal (Didan, 2021). Por outro lado, uma inspeção mais detalhada obtida por meio do monitor de seca (Morais, 2025) permite identificar que áreas isoladas de seca extrema na porção sudoeste da bacia estão associadas ao solo exposto em preparação para cultivos, fato já observado por Morais (2021) na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

A análise do SVI evidenciou padrão espacial estruturado pela heterogeneidade climática e fisionômica da bacia. A porção leste e sudeste apresentou o comportamento mais estável ao longo da série, com predomínio de condições de normalidade, à exceção da porção sul, que registrou alternância entre condições de umidade no início do período e seca severa a extrema entre outubro e novembro. O comportamento mais instável ocorreu na região central da bacia, que apresentou uma grande área de seca extrema em dois períodos distintos: junho e novembro.

A porção oeste e sudoeste, inserida no MATOPIBA, apresentou anomalias negativas associadas predominantemente ao ciclo produtivo das culturas de verão e recuperação expressiva a partir de novembro. A porção norte e, em certa medida, a porção sul (alto Parnaíba), mantiveram condições de normalidade a umidade moderada durante praticamente todo o período monitorado, refletindo as condições pluviométricas da região (Morais; Abreu, 2021). Essa diferenciação espacial reforça a importância de interpretar os resultados do SVI considerando a heterogeneidade climática e de uso da terra da bacia, evitando generalizações que desconsiderem os distintos regimes de resposta espectral da vegetação em cada porção do território monitorado.

3.3 Relação entre NDVI e condições de seca

A análise comparativa entre o NDVI e o SVI ao longo das 13 composições quinzenais (Ver atlas completo na OSF) revelou correspondência espacial consistente entre os baixos valores do índice de vegetação e as anomalias negativas do SVI na maior parte da bacia. Nas porções central e sudoeste, onde o SVI registrou as condições de seca mais severas entre junho e novembro, os mapas de NDVI evidenciaram simultaneamente os menores valores da série, frequentemente inferiores a 0,2, confirmando que o déficit no vigor da vegetação foi acompanhado de anomalia negativa significativa em relação à climatologia histórica. Essa correspondência é esperada, uma vez que o SVI é calculado diretamente a partir do NDVI (Peters *et al.*, 2002), índice que tem sido utilizado no monitoramento indicativo de estiagem em períodos críticos de culturas agrícolas no Brasil (Leivas *et al.*, 2014), mas sua expressão espacial na bacia do Parnaíba reflete a intensidade do evento de seca registrado no período, particularmente nas composições de setembro a novembro.

A correspondência entre NDVI baixo e SVI negativo, contudo, não foi universal. O caso mais expressivo ocorreu na porção sudoeste, onde valores de NDVI inferiores a 0,2 foram registrados em contexto de anomalia negativa do SVI que não pode ser atribuída exclusivamente ao déficit hídrico, mas ao ciclo produtivo da soja em período de pousio (Spera *et al.*, 2016). Um segundo caso de divergência foi identificado nas composições de dezembro, quando a recuperação generalizada do NDVI não foi acompanhada pela normalização completa do SVI em alguns núcleos observados em toda a extensão da bacia, sugerindo contaminação residual por nuvens no produto MOD13Q1 (Didan, 2021). Essas divergências reforçam a recomendação de que o monitoramento da seca por índices espectrais seja complementado por informações auxiliares, como mapas de uso e cobertura da terra e dados de precipitação, para distinguir anomalias de origem climática daquelas associadas à dinâmica de uso da terra ou a artefatos nos dados de sensoriamento remoto (Sousa Júnior; Lacruz, 2015; Rotjanakusol; Laosuwan, 2019).

Por fim, cabe destacar que, embora a climatologia de referência abranja 25 anos de dados (2000–2024), o período monitorado corresponde a um único semestre, o que limita inferências sobre tendências temporais de longo prazo. A continuidade do monitoramento nos anos subsequentes, utilizando a mesma climatologia de referência, permitirá progressivamente a construção de uma série temporal comparável e o desenvolvimento de análises de tendência da seca na bacia do Rio Parnaíba.

SECA NA BACIA DO RIO PARNAÍBA EM 2025: MONITORAMENTO SISTEMÁTICO COM ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO E REFERÊNCIA CLIMATOLÓGICA HISTÓRICA (2000-2024)

4 Considerações finais

Este estudo demonstrou a viabilidade do monitoramento sistemático da seca na bacia hidrográfica do Rio Parnaíba por meio de índices espectrais de vegetação derivados do produto MODIS MOD13Q1, processados em ambiente de computação em nuvem. A integração entre o Google Earth Engine e o QGIS, com automação via scripts PyQGIS, mostrou-se uma solução metodologicamente robusta, reprodutível e de baixo custo operacional, aplicável ao monitoramento de bacias hidrográficas de grande extensão territorial.

O uso da climatologia histórica do NDVI (2000-2024) como referência para o cálculo do SVI eliminou o efeito da sazonalidade sobre os valores de anomalia e estabeleceu as condições para a comparabilidade temporal entre diferentes anos de monitoramento. Os padrões identificados foram coerentes com a heterogeneidade climática, fisionômica e de uso da terra da bacia, destacando a vulnerabilidade das porções central e sul ao déficit hídrico e a influência do ciclo agrícola do MATOPIBA sobre a resposta espectral da vegetação na porção sudoeste, o que reforça a necessidade de integrar índices espectrais com informações auxiliares de uso da terra e precipitação para uma interpretação mais precisa das condições de seca.

A continuidade do monitoramento está prevista para o segundo semestre de 2026, utilizando a mesma climatologia de referência. Uma ferramenta de visualização interativa baseada no Google Earth Engine Apps encontra-se disponível para acompanhamento público do status da seca na bacia de forma sistemática e quinzenal (Morais, 2025).

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Instituto Federal do Piauí (IFPI) pelo apoio financeiro concedido por meio do Programa de Apoio à Pesquisa e à Inovação (PROAGRUPAR INFRA 2025), que viabilizou a execução deste trabalho.

Referências

ARAÚJO, M. L. S. D. *et al.* Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). *Land Use Policy*, [s. l.], v. 80, p. 57–67, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S026483771830588X>. Acesso em: 6 mar. 2026.

- BRAGANÇA, A. A. The Causes and Consequences of Agricultural Expansion in Matopiba. **Revista Brasileira de Economia**, [s. l.], v. 72, n. 2, p. 161–185, 2018. Disponível em: <http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/0034-7140.20180008>. Acesso em: 19 mai. 2026.
- CALMON, D. Shifting frontiers: the making of Matopiba in Brazil and global redirected land use and control change. **The Journal of Peasant Studies**, [s. l.], v. 49, n. 2, p. 263–287, 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03066150.2020.1824183>. Acesso em: 20 maio 2026.
- CERQUEIRA, E. B.; GOMES, J. M. A. Expansão agropecuária e dinâmicas de uso e cobertura do solo no Piauí. **Geo UERJ**, [s. l.], n. 42, p. e69241–e69241, 2023. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/69241>. Acesso em: 16 mai. 2026.
- CAVALCANTI, I. F. A. *et al.* (org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- DIDAN, K. **MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V061**. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.061>. Acesso em: 16 mai. 2026.
- FERNANDES, G. S. T. *et al.* Mapping of Environmental Fragility in Agricultural Expansion Areas in Matopiba, Piauí, Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 16, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/download/258587/45221>. Acesso em: 19 maio 2026.
- GORELICK, N. *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 202, p. 18–27, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425717302900>. Acesso em: 20 maio 2026.
- KUBIAK-WÓJCICKA, K.; PILARSKA, A.; KAMIŃSKI, D. Meteorological drought in the upper Noteć catchment area (Central Poland) in the light of NDVI and SPI indicators. **Applied Water Science**, v. 14, n. 8, p. 180, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02215-1>. Acesso em: 25 ago. 2024.
- LEIVAS, J. F. *et al.* Avaliação do índice de vegetação padronizado no monitoramento indicativo de estiagem em períodos críticos da soja no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, [s. l.], v. 66, n. 5, 2014. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44704>. Acesso em: 5 mar. 2026.
- MARENCO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanalise**, v. 3, n. 1, p. 49–54, 2016. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/marengoetal.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2024.
- MORAIS, R. C. de S. Sensoriamento remoto aplicado à identificação da seca na bacia hidrográfica do Rio Uruçuí Preto, Piauí. In: IWATA, B. de F.; ROCHA, I. L. (org.). **Cerrado: capital natural e serviços ambientais**. Jundiaí, SP: Paco Editorial, 2021.
- MORAIS, R. C. de S. **Monitoramento da Seca — Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba**. Google Earth Engine Apps, 2025. Disponível em: [15](https://ee-</p></div><div data-bbox=)

SECA NA BACIA DO RIO PARNAÍBA EM 2025: MONITORAMENTO SISTEMÁTICO COM ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO E REFERÊNCIA CLIMATOLÓGICA HISTÓRICA (2000-2024)

reurysson.projects.earthengine.app/view/secaparnaiba. Acesso em: 17 mai. 2026.

MORAIS, R. C. de S.; ABREU, L. P. de. Análise espacial da variabilidade de precipitação na bacia hidrográfica do rio Parnaíba, nordeste de Brasil. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, v. 2, n. 2, 2021. Disponível em:

<https://periodicos.ufpi.br/index.php/acipi/article/view/902/811>. Acesso em: 4 abr. 2024.

MYNENI, R. B.; WILLIAMS, D. L. On the relationship between FAPAR and NDVI. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 3, p. 200–211, 1994. Disponível em:

[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90016-7). Acesso em: 16 mai. 2026.

NDMC –NATIONAL DROUGHT MITIGATION CENTER. **Types of Drought**. Lincoln: University of Nebraska, 2020. Disponível em: <https://drought.unl.edu/Education/DroughtIn-depth/TypesofDrought.aspx>. Acesso em: 6 ago. 2020.

OLIVEIRA, R. S. *et al.* Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil. **Functional Ecology**, v. 19, n. 4, p. 574–581, 2005. Disponível em:

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2005.01003.x>. Acesso em: 16 mai. 2026.

PETERS, A. J. *et al.* Drought monitoring with NDVI-based Standardized Vegetation Index. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, [s. l.], v. 68, p. 71–75, 2002. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:44889579>. Acesso em: 10 maio 2026.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2012.

RIVAS, M. P. (org.). **Macrozoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do rio Parnaíba**. Rio de Janeiro: IBGE, Primeira Divisão de Geociências do Nordeste, 1996. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=284769&view=detalhes>. Acesso em: 10 mai. 2026.

ROTJANAKUSOL, T.; LAOSUWAN, T. Drought evaluation with NDVI-based Standardized Vegetation Index in lower northeastern region of Thailand. **Geographia Technica**, v. 14, n. 1, p. 118–130, 2019.

SAMPAIO, E. V. S. B. Overview of the Brazilian caatinga. In: BULLOCK, S. H.; MOONEY, H. A.; MEDINA, E. (ed.). **Seasonally Dry Tropical Forests**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. p. 35–63.

SANTANA, A. S. D.; SANTOS, G. R. D. Impactos da seca de 2012-2017 na região semiárida do Nordeste: notas sobre a abordagem de dados quantitativos e conclusões qualitativas. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, v. 22, p. 119–129, 2020. Disponível em:

https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10392/1/brua_22_ensaio_ambiental_artigo_9.pdf. Acesso em: 25 ago. 2024.

SANTOS, J. F. S. dos; NAVAL, L. P. Soy water footprint and socioeconomic development: An analysis in the new agricultural expansion areas of the Brazilian cerrado (Brazilian savanna). **Environmental Development**, [s. l.], v. 42, p. 100670–100670, 2022. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211464521000750>. Acesso em: 19 maio 2026.

SOUSA JÚNIOR, M. A.; LACRUZ, M. S. P. Sensoriamento remoto para seca/estiagem. In: SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. (org.). **Sensoriamento remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de Texto, 2015. p. 277.

SOUSA JÚNIOR, M. de A.; SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. Monitoramento de estiagem na região Sul do Brasil utilizando dados EVI/MODIS no período de dezembro de 2000 a junho de 2009. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais[...]**. São José dos Campos: INPE, 2011. p. 5901–5908.

SPERA, S. A. *et al.* Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. **Global Change Biology**, v. 22, n. 10, p. 3405–3413, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.13298>. Acesso em: 16 mai. 2026.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. **Water International**, v. 10, n. 3, p. 111–120, 1985. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02508068508686328>. Acesso em: 20 maio 2026.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Base Hidrográfica Ottocodificada 2017 5K – área de drenagem**. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/6ca094abfa654e8facde83e8f66acd18_0/about. Acesso em: 16 mai. 2026.