



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE BACHARELADO EM GEOGRAFIA

ELEN MAYARA DE SOUSA BATISTA

**CORRELAÇÃO ENTRE SAZONALIDADE DA VEGETAÇÃO DE CAATINGA E
PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO EM CONTEXTOS GEOLÓGICOS DISTINTOS NO
ALTO SERTÃO PARAIBANO**

JOÃO PESSOA – PB

2023

ELEN MAYARA DE SOUSA BATISTA

**CORRELAÇÃO ENTRE A SAZONALIDADE DA VEGETAÇÃO DE CAATINGA E
PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO EM CONTEXTOS GEOLÓGICOS DISTINTOS NO
ALTO SERTÃO PARAIBANO**

Monografia apresentada ao Curso Geografia, do Departamento de Geociências, do Centro de Ciências Exatas e da Natureza, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Jonas Otaviano
Praça de Sousa

JOÃO PESSOA – PB

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B333c Batista, Elen Mayara de Sousa.

Correlação entre sazonalidade da vegetação de caatinga e padrões de precipitação em contextos geológicos distintos no alto sertão paraibano / Elen Mayara de Sousa Batista. - João Pessoa, 2023.

47 p. : il.

Orientação: Jonas Otaviano Praça de Sousa.

TCC (Curso de Bacharelado em Geografia) -
UFPB/CCEN.

1. Floresta Tropical Sazonalmente Seca (FTSS). 2. Sensoriamento remoto. 3. Índice de vegetação. I. Sousa, Jonas Otaviano Praça de. II. Título.

UFPB/CCEN

CDU 91(043.2)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
COORDENAÇÃO DOS CURSOS DE GEOGRAFIA

Resolução

N.01/2021/CCBLG/CCEN/UFPB

PARECER DO TCC

Tendo em vista que o aluno (a):
Elen Mayara de Sousa Batista

(X) cumpriu () não cumpriu os itens da avaliação do TCC previstos no artigo 25º da Resolução N. 01/2021/CCBLG/CCEN/UFPB somos de parecer (X) favorável ou () desfavorável à aprovação do TCC intitulado:

CORRELAÇÃO ENTRE SAZONALIDADE DA VEGETAÇÃO DE CAATINGA E PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO EM CONTEXTOS GEOLÓGICOS DISTINTOS NO ALTO SERTÃO PARAIBANO

João Pessoa, 11 de setembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **JONAS OTAVIANO PRACA DE SOUZA**
Data: 18/09/2023 17:50:36-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Professor Orientador

Documento assinado digitalmente
 **CAROLYNE WANESSA LINS DE ANDRADE FARIAS**
Data: 14/09/2023 10:20:33-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Membro Interno

Documento assinado digitalmente
 **BARTOLOMEU ISRAEL DE SOUZA**
Data: 14/09/2023 11:54:59-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Membro Interno ou Externo

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os processos da vida que me trouxeram até aqui. Todos os lugares passados, todas as pessoas que cruzaram, em algum momento, por essa jornada. A quem fez parte e somou.

A princípio ressalto minha Mãe, que me ensinou fundamentos essenciais e ideias que permeiam minhas ações.

As minhas irmãs, Eden e Evelin, que me ensinaram o sentido de cuidar e compartilhar.

Ao meu marido, Ruan Luca, que foi e é fundamental nas minhas descobertas e o maior incentivador de todas as escolhas que faço.

A Maysa e Yuri, por todo o suporte fornecido na minha estadia em João Pessoa – PB.

Aos meus amigos, que ultrapassam as relações acadêmicas, Danilo e Daniel, pelas viagens na Caatinga no período chuvoso e suporte dado em diferentes momentos, Paula e Kerolainy, por diversos fatores que edificaram e Felipe, que me ensinou a partir da prática como uma pessoa pode evoluir e amadurecer.

Ao meu Professor e Orientador Jonas Sousa, que zela pelo bem estar dos discentes/orientandos e se propõe a fortalecer estudos que integram a Caatinga. Soube agregar e unir meu conhecimento prático inserindo aspectos teóricos.

Aos meus colegas, Elânia, Gabriel, Camila, Fábio, Ellen e todos os outros que integram o Grupo de Estudos de Ambientes Fluviais Semiárido (GEAFS).

Por último, agradeço a Pró-reitoria de Assistência e Promoção ao Estudante (PRAPE), pelo incentivo a minha permanência na Universidade.

RESUMO

A Floresta Tropical Sazonalmente Seca (FTSS) brasileira é classificada como uma das maiores porções de núcleos vegetacionais da América Central e do Sul, além de ser na extensão a maior em área contínua. A vegetação de Caatinga possui alto nível de endemismo e características que são restritas a região semiárida brasileira. Detém uma diversidade na composição florística, complexidade no comportamento hidrológico, associados à irregularidade e distribuição espacial das chuvas, adaptabilidade a seca e baixo grau de perturbação ocasionada por eventos extremos de chuva, quando comparada a outras FTSS. A vegetação de Caatinga é influenciada por condicionantes climáticos ligados à precipitação, temperatura e disponibilidade de água para as plantas. Esses aspectos se interrelacionam com fatores abióticos, como geologia e altitude. Desse modo, objetivou-se compreender a dinâmica da sazonalidade da vegetação de Caatinga a partir de Índices de Vegetação (IV) e a sua correlação com os padrões de precipitação em áreas de contextos geológicos distintos na região do Alto Sertão paraibano. Buscou-se como metodologia a aplicação de técnicas fornecidas pelo sensoriamento remoto e que vem sendo amplamente empregado para elaboração de estudos que visam identificar as alterações geradas na vegetação. Foi utilizado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS), modelos matemáticos vinculados a reflectância da cobertura vegetal, aplicados para identificar a sazonalidade da vegetação de Caatinga e dinâmica inter e intra-anual. A partir dos resultados, verificou-se que essa informação correlacionada aos dados dos padrões de precipitação fornece significativas contribuições no entendimento das características da vegetação de Caatinga. Esse Bioma vem sofrendo ao longo dos anos com o aumento dos níveis de degradação, ocasionados por fatores físicos e atividades produtivas. As alterações na cobertura vegetal geram em uma escala local e regional a redução das chuvas, o desaparecimento de espécies endêmicas e o desequilíbrio ambiental.

Palavras-chaves: Floresta Tropical Sazonalmente Seca (FTSS); Sensoriamento Remoto; Índice de vegetação (IV).

ABSTRACT

The Brazilian Seasonally Dry Tropical Forest (FTSS) is classified as one of the largest portions of vegetation centers in Central and South America, in addition to being the largest in continuous area. The Caatinga vegetation has a high level of endemism and characteristics that are restricted to the Brazilian semiarid region. It has a diversity in floristic composition, complexity in hydrological behavior, associated with the irregularity and spatial distribution of rainfall, adaptability to drought and a low degree of disturbance caused by extreme rain events, when compared to other FTSS. Caatinga vegetation is influenced by climatic conditions linked to precipitation, temperature and water availability for plants. These aspects are interrelated with abiotic factors, such as geology and altitude. In this way, the objective was to understand the dynamics of the seasonality of Caatinga vegetation based on Vegetation Indices (VI) and their correlation with precipitation patterns in areas with different geological contexts in the Alto Sertão region of Paraíba. As a methodology, the application of techniques provided by remote sensing was sought, which has been widely used to prepare studies that aim to identify the changes generated in the vegetation. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) were used, mathematical models linked to the reflectance of the vegetation cover, applied to identify the seasonality of the Caatinga vegetation and inter and intra-annual dynamics. From the results, it was verified that this information correlated to data on precipitation patterns provides significant contributions to understanding the characteristics of the Caatinga vegetation. This Biome has suffered over the years from increased levels of degradation, caused by physical factors and productive activities. Changes in vegetation cover generate, on a local and regional scale, a reduction in rainfall, the disappearance of endemic species and environmental imbalance.

Keywords: Tropical Dry Forest (TDF); Remote Sensing; Vegetation Index (VI).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES E MAPAS

| | |
|---|----|
| Figura 01 – Espécies de plantas endêmicas da vegetação de Caatinga em áreas de formação geologia cristalina _____ | 20 |
| Mapa 01 – Localização da área de estudo _____ | 24 |
| Mapa 02 – Geologia da área de estudo _____ | 25 |
| Mapa 03 – Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo _____ | 25 |
| Mapa 04 – Uso e ocupação da terra no ano de 2000; A) Monte Horebe e Bonito de Santa Fé; B) São João do Rio do Peixe e Sousa _____ | 35 |
| Mapa 05 – Uso e ocupação da terra no ano de 2021; A) Monte Horebe e Bonito de Santa Fé; B) São João do Rio do Peixe e Sousa _____ | 35 |
| Mapa 06 - (A) IVDN de São João do Rio do Peixe e Sousa; (B) IVDN de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé; (C) IVAS de São João do Rio do Peixe e Sousa; (D) IVAS de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé (Julho - 2003) _____ | 38 |
| Mapa 07 - (A) IVDN de São João do Rio do Peixe e Sousa; (B) IVDN de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé; (C) IVAS de São João do Rio do Peixe e Sousa; (D) IVAS de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé (Julho - 2007) _____ | 39 |
| Mapa 08 - (A) IVDN de São João do Rio do Peixe e Sousa; (B) IVDN de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé; (C) IVAS de São João do Rio do Peixe e Sousa; (D) IVAS de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé (Maio - 2014) _____ | 40 |
| Mapa 09 - (A) IVDN de São João do Rio do Peixe e Sousa; (B) IVDN de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé; (C) IVAS de São João do Rio do Peixe e Sousa; (D) IVAS de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé (Novembro - 2016) _____ | 41 |
| Mapa 10 - (A) IVDN de São João do Rio do Peixe e Sousa; (B) IVDN de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé; (C) IVAS de São João do Rio do Peixe e Sousa; (D) IVAS de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé (Novembro – 2021) _____ | 42 |
| Mapa 11 - (A) IVDN de São João do Rio do Peixe e Sousa; (B) IVDN de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé; (C) IVAS de São João do Rio do Peixe e Sousa; (D) IVAS de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé (Março - 2023) _____ | 43 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 01 - Chuva acumulada e média dos índices de vegetação do município de Monte Horebe – PB _____ | 31 |
| Tabela 02 - Chuva acumulada e média dos índices de vegetação do município de Bonito de Santa Fé – PB _____ | 32 |
| Tabela 03 - Chuva acumulada e média dos índices de vegetação do município de São João do Rio do Peixe – PB _____ | 32 |
| Tabela 04 - Chuva acumulada e média dos índices de vegetação do município de Sousa – PB _____ | 33 |
| Tabela 05 – Composição da formação florestal e savânica no intervalo de vinte anos _____ | 36 |
| Tabela 06 – Correlação de determinação R^2 entre a média dos índices de vegetação e chuva acumulada para o cenário geológico cristalino _____ | 45 |
| Tabela 07 – Correlação de determinação R^2 entre a média dos índices de vegetação e chuva acumulada para o cenário geológico sedimentar _____ | 46 |

LISTA DE EQUAÇÕES E FÓRMULAS

Equação 01: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada _____28

Equação 02: Índice de Vegetação Ajustado ao Solo _____28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

FTSS – Floresta Tropical Sazonalmente Seca

IV – Índice de Vegetação

IVAS – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

IVDN – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

USGS – Serviço Geológico dos Estados Unidos

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 Objetivo geral | 16 |
| 1.2 Objetivos específicos | 16 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 17 |
| 2.1 Sazonalidade da vegetação de Caatinga e a sua relação com a precipitação, temperatura e disponibilidade de água | 17 |
| 2.2 Diferenciações ambientais e variações vegetacionais: a influência da geologia e da altitude nas variações espaciais da precipitação | 19 |
| 2.3 Aplicações do sensoriamento remoto na análise da sazonalidade da vegetação | 21 |
| 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 24 |
| 4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 27 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 31 |
| 6. CONCLUSÕES | 48 |
| REFERÊNCIAS | 50 |

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas houve o aprofundamento de debates e ampliação da divulgação científica em todo continente da América Central e do Sul no que se refere a estudos que abordam a dinâmica, comportamento, características, composições e funcionamento das Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSS) (VERDUZCO *et al.*, 2015; STAN e SANCHEZ-AZOFEIFA, 2019). Esse aumento na formulação de pesquisas envolvendo as florestas secas ocorreu devido lacunas que impediam uma maior compreensão dessas paisagens semiáridas e da sua organização espacial.

Durante o processo de ocupação e povoamento das FTSS o elemento integrante da paisagem mais suscetível às modificações é a vegetação (BANDA *et al.*, 2016). Essas alterações influenciam no sistema ambiental físico e geram distúrbios na sua estrutura (CHRISTOFOLETTI, 1999), impactando o equilíbrio natural. Essas perturbações ambientais são desencadeadas pela produção do espaço e, com o aumento e intensificação da degradação nos ambientes secos, emergiu a necessidade de se buscar acompanhar e analisar as transformações geradas na vegetação e compreender os possíveis impactos.

A FTSS brasileira, composta pela vegetação de Caatinga, é caracterizada como uma floresta seca integrada por diversos arranjos e núcleos vegetacionais, definida por Prado (2003) como “Caatingas”. Essas formações se interrelacionam com fatores geológicos, geomorfológicos, pedológicos e principalmente condicionantes climáticos, associados aos padrões de precipitação, onde esses elementos modulam e controlam as variações.

Nesse sentido, é importante compreender as condições e fatores que estão envolvidos nesse processo vinculado à dinâmica de precipitação e as características e comportamento da vegetação de Caatinga (ARAÚJO, 2018; BECERRA, 2015). As interações água-precipitação-umidade são essenciais para a manutenção das FTSS e influenciam diretamente na formação da vegetação (STAN e SANCHEZ-AZOFEIFA, 2019). Essa dinâmica é evidenciada na morfologia e na composição da diversidade da vegetação.

A vegetação interage com a atmosfera e solo (SENA, 2017; STAN e SANCHEZ-AZOFEIFA, 2019). Essa relação é influenciada pela umidade disponível no solo e pela geomorfologia, associada à elevação/altitude. Durante esse processo

ocorre troca de calor entre a atmosfera e a vegetação. Quando esse processo é estabelecido em escala local, essa interação é intensificada (OLIVEIRA, 2006).

Desse modo, as formações vegetacionais se organizam espacialmente comportando características heterogêneas e complexas. Esses aspectos geram diversidade na composição e estrutura das FTSS (PRADO, 2003). Diversos fatores influenciam a sazonalidade da vegetação e se vinculam ao regime hidrológico. Um exemplo da diversidade dessa dinâmica são os arranjos vegetacionais inseridos em áreas de formação geológica cristalina e sedimentar (ARAÚJO, 2018).

Portanto, é fundamental a elaboração de estudos que busquem correlacionar a sazonalidade da vegetação de Caatinga com os padrões de precipitação e fatores abióticos, visto que ainda há uma deficiência significativa de pesquisas voltadas para as FTSS.

Numerosas lacunas impedem atualmente o entendimento do comportamento e funcionamento das FTSS. É fundamental que haja a ampliação de estudos ambientais que buscam aprofundar essas questões. O sensoriamento remoto é aplicado para identificar as mudanças e transformações na vegetação e também auxilia no monitoramento de áreas protegidas.

Alguns autores(as) utilizam índices de vegetação para acompanhar as modificações geradas na vegetação de Caatinga e são utilizados o IVDN e IVAS. A junção desses índices é essencial para compreender as alterações sazonais, onde o IVDN é utilizado para identificar as mudanças no período chuvoso e pós-chuvoso e o IVAS para analisar o comportamento vegetacional do período seco. O IVAS corrige a reflectância do solo, desse modo, fornece informações precisas, sem interferência de outros elementos espaciais. Visto que a reflectância do solo é elevada no período seco.

Nesse sentido, essa pesquisa busca analisar as diferenças na sazonalidade da vegetação de Caatinga em contextos geológicos distintos, utilizando Índices de Vegetação (IV) e sua correlação com os dados pluviométricos. A hipótese da pesquisa busca confirmar se há correlação entre impactos gerados pelo uso e ocupação da terra em áreas de formações geológicas distintas (sedimentar e cristalino) na dinâmica de sazonalidade da vegetação de Caatinga e consequentemente nos ciclos de precipitação.

1.1. Objetivo geral

Compreender a dinâmica da sazonalidade da vegetação de Caatinga a partir de índices de vegetação e a sua correlação com os padrões de precipitação em áreas de contextos geológicos distintos.

1.2. Objetivos específicos

- Analisar os padrões de precipitação e a distribuição espacial da área de interesse.
- Identificar as transformações geradas na vegetação a partir de informações de uso e ocupação da terra.
- Compreender a sazonalidade inter e intra-anual da vegetação de Caatinga.
- Correlacionar os índices de vegetação com os dados de chuva acumulada, associados a fatores abióticos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Sazonalidade da vegetação de Caatinga e a sua relação com a precipitação, temperatura e disponibilidade de água

A vegetação de Caatinga é particular do semiárido brasileiro, constituída por uma diversidade de formações vegetacionais e alto nível de endemismo. Trata-se de uma Floresta Tropical Sazonalmente Seca (FTSS) composta por uma biota complexa e diversa, integrada por uma variabilidade de espécies de plantas, animais e condições microbianas (PRADO, 2003; ESPÍRITO-SANTO *et al.*, 2008; COSTA *et al.*, 2015; VERDUZCO *et al.*, 2015; BANDA *et al.*, 2016).

A biodiversidade da vegetação de Caatinga foi sendo constituída através de processos evolutivos da época geológica do Mioceno, sendo marcada principalmente pela ação adaptativa das FTSS (BANDA *et al.*, 2016). De modo gradual, os biomas que integram o continente Sul foram se diversificando em uma escala local (FERNANDES e QUEIROZ, 2018). Das FTSS que integram o continente da América do Sul, a Caatinga é colocada como sendo uma das maiores porções de núcleos vegetacionais, além de ser na extensão a maior em área contínua (SERAFIM FILHO, 2021).

Caatinga significa “Mata Branca”, tem origem e ascendência do Tupi-Guarani e recebeu essa nomenclatura a partir das observações dos indígenas que ocupavam esses ambientes secos (ARAÚJO, 2018). Os nativos identificaram que algumas espécies da Caatinga possuíam uma dinâmica restrita a região do semiárido. A vegetação Caatinga no período de estiagem/seca perde as folhas e os galhos ficam expostos, enquanto que no período chuvoso, as folhas rebrotam, as espécies florescem, dão frutos e esse ciclo sazonal se repete anualmente (PRADO, 2003)

A dinâmica relacionada à sazonalidade da vegetação está interligada diretamente aos padrões e variações da precipitação. Processos vinculados ao crescimento e latência das plantas, maior esverdeamento e conseqüentemente o envelhecimento da planta, bem como, atividade florística e de frutificação, estão correlacionadas diretamente às condições que são impostas por fatores climáticos, associados diretamente à precipitação (FERNANDES e QUEIROZ, 2018; STAN e SANCHEZ-AZOFEIFA, 2019).

Outros processos, como a irradiância solar e a evapotranspiração potencial anual, também são características marcantes da variação climática da Caatinga (LUZ *et al.*, 2021).

As engrenagens que fornecem energia e matéria para o funcionamento da estrutura física do ambiente semiárido possui comportamento não linear, determinando uma dinâmica de retroalimentação específica desse ecossistema. Desse modo, o sistema que integra os padrões de precipitação e a sazonalidade da vegetação possui comportamento complexo e dinâmico (SENA, 2017; ARAÚJO, 2018).

A vegetação de Caatinga necessitou adaptar-se a condições adversas estabelecidas por fatores climáticos. Como descrito anteriormente, a adaptação da vegetação mais perceptível é a predominância da perda de folhas no período seco. Outro aspecto de adaptação está no tamanho das folhas das plantas, que é menor quando comparada a espécies de outros biomas, essa característica favorece a captação de luz solar. As raízes das plantas e o seu caule também estabeleceram sua dinâmica evolutiva, as raízes espalham-se no solo lateralmente, evitando maior profundidade. Outra variação da raiz está relacionada ao armazenamento da água da chuva (FERNANDES e QUEIROZ, 2018). A vegetação por meios de processos evolutivos buscou formas de captar água e de mantê-la, através do escoamento superficial, infiltração e umidade.

Sabe-se que as chuvas do Semiárido são irregulares e a sua distribuição é definida pelo tempo, duração e magnitude. O fator determinante na sazonalidade da vegetação está vinculado à disponibilidade de umidade para as plantas, influenciando diretamente na sua estrutura e organização (VERDUZCO *et al.*, 2015). Nesse sentido, a fenologia, que trata da relação entre os fatores biológicos e hidrológicos, controla as características referentes às diversas formações de vegetação (STAN e SANCHEZ-AZOFEIFA, 2019). A concepção holística pode ser empregada na análise da sazonalidade da vegetação de Caatinga associada aos padrões de precipitação.

2.2 Diferenciações ambientais e variações vegetacionais: a influência da geologia e da altitude nas variações espaciais da precipitação

A diversidade dos arranjos vegetacionais está correlacionada a variações na estrutura física local e fatores abióticos (CHAVES *et al.*, 2013; BANDA *et al.*, 2016). Os processos geológicos e as unidades geomorfológicas exercem função determinante na formação, composição e resistência dos solos da Caatinga. A influência desses elementos é espacializada em áreas de embasamento cristalino e em ambientes de geologia sedimentar (COSTA *et al.*, 2015; SERAFIM FILHO *et al.*, 2021). As variações da vegetação respondem primariamente a fatores abióticos que integram a paisagem, bem como ao regime hidrológico (ESPÍRITO-SANTO *et al.*, 2008).

A geologia influencia a composição vegetacional (PRADO, 2003), gerando uma diversidade paisagística, que atua primariamente sobre a organização espacial dos elementos que integram o sistema ambiental físico (CHRISTOFOLETTI, 1999) determinando assim um sistema complexo:

Um sistema pode ser definido como um todo organizado composto de elementos que se inter-relacionam. A ideia de sistema só ganha sentido se forem considerados conjuntamente esses três conceitos: todo, partes e inter-relação. A simples interação entre elementos não forma um sistema se não forem capazes de criar algo que funcione como um todo integrado. Por outro lado, não é possível compreender totalmente esse todo senão entendermos quais são suas partes e como elas se inter-relacionam (MATTOS e PEREZ FILHOS, 2004, p.12).

As diferenciações ambientais podem ser compreendidas a partir das inter-relações dos elementos, ou seja, as condições geológicas influenciam nas características e composição do solo, como textura, porosidade, profundidade e fertilidade e esses aspectos estão associados aos tipos de formações de vegetação, que está vinculada a precipitação e assim por diante.

Correlacionado a esse processo geológico, está o sistema climático, que define o regime hidrológico e impacta a sazonalidade da vegetação. Em áreas de embasamento cristalino e serras de composição granítica, os solos são classificados como rasos e férteis, fatores decorrentes da baixa lixiviação (PRADO, 2003) e são ambientes compostos por uma variabilidade de espécies endêmicas. Entre algumas espécies que se adaptaram ao ambiente seco, destacam-se a *Pilosocereus gounellei*, conhecida popularmente como Xique-xique e também a *Spondias*

tuberosa, conhecido como Umbuzeiro (Figura 01). Essas duas espécies de plantas são classificadas como endêmicas do Bioma Caatinga.

Figura 01 – Espécies de plantas endêmicas da vegetação de Caatinga em áreas de formação geologia cristalina



Fonte: acervo pessoal (2023)

Algumas espécies de plantas da Caatinga são classificadas como perenes (bromélias e cactos), que para adequação e estabelecimento em ambientes semiáridos e de geologia cristalina, as folhas foram substituídas por espinhos e as raízes possuem dinâmica de crescimento lateral devido à baixa profundidade dos solos dessas áreas (FERNANDES e QUEIROZ, 2018). A vegetação do entorno desses embasamentos cristalinos possui na maior parte uma estrutura arbórea fechada. Quando essas áreas possuem maior nível de conservação, há também a presença de árvores retorcidas. O estrato herbáceo, definido como efêmero, presente principalmente no período chuvoso, varia em função das características do solo e da altitude a qual, na maior parte, atinge níveis médios de 500 à 800 metros (COSTA *et al.*, 2015) e possuem material resistente a erosão. O processo mais atuante nesse cenário geológico é o intemperismo químico, físico e biológico.

Nas áreas de formação geológica sedimentar, a vegetação, os solos e as condições climáticas, se organizam espacialmente de maneira diferenciada. No caso da área de estudo, são ambientes com composição de arenito e argilito, o que torna

na grande maioria desses espaços, os solos menos férteis e mais profundos, além da diferenciação na textura e porosidade. A formação geológica sedimentar facilita a infiltração e influencia na velocidade de escoamento superficial e lateral da água gerados pela chuva. Esse processo hídrico em áreas sedimentares propicia uma maior umidade para a vegetação, compreendendo que a disponibilidade de água é essencial para a manutenção dessas FTSS (STAN e SANCHEZ-AZOFEIFA, 2019).

Tratando-se da área de estudo que aborda essa pesquisa, os índices pluviométricos anuais são inferiores a 1000 mm. Uma dinâmica acentuada dessas formações sedimentares se trata dos processos erosivos mais atuante nessas unidades, ocorrendo dois tipos: a erosão superficial e a erosão que ocorre em camadas mais profundas (PRADO, 2003; COSTA *et al.*, 2015; FERNANDES e QUEIROZ, 2018).

No que se refere à geologia da área de estudo, a parte composta pelo cenário geológico do embasamento cristalino é predominantemente formado por granito e possui unidades geomorfológicas caracteriza por planaltos e serras. O cenário geológico sedimentar que essa pesquisa aborda são áreas de relevo plano e depressões, onde se predomina o pediplano. Esses aspectos influenciam diretamente nas condições climáticas que é modulada pelo regime hidrológico.

2.3 Aplicações do sensoriamento remoto na análise da sazonalidade da vegetação

A conservação da vegetação de Caatinga ainda é bastante inferior comparando a outros biomas brasileiros, concentrando menos de 3% de Unidades de Conservação (UC) em toda a região semiárida e sendo um dos biomas brasileiros com poucas áreas de vegetação intacta (ESPÍRITO-SANTO *et al.*, 2008; BECERRA, 2015).

Por ser detentora de uma biodiversidade endêmica e desenvolver uma dinâmica de troca com os diversos núcleos de formações de vegetação dentro da Caatinga, ou seja, por haver uma inter-relação entre as “caatingas” (PRADO, 2003; BANDA *et al.*, 2016; FERNANDES e QUEIROZ, 2018), compreende-se que a degradação de uma localidade, pode afetar a composição vegetacional de outro núcleo, em escala local e regional, gerando alterações na cobertura vegetal, ocasionando na redução das chuvas e desaparecimento de espécies endêmicas.

Uma das formas de se analisar o comportamento sazonal da vegetação é realizada por meio de técnicas do sensoriamento remoto.

O sensoriamento remoto se consolidou na premissa dos avanços tecnológicos e da sua aplicabilidade no desenvolvimento de estudos de cunho ambiental. É amplamente utilizado para identificação das modificações geradas na vegetação, principalmente em relação aos níveis de degradação, operando por meio do monitoramento e fiscalização de áreas protegidas, como as Unidades de Conservação (UC).

A vegetação de Caatinga possui períodos em que a atividade da clorofila é mais elevada e ocorre predominantemente no período chuvoso e pós-chuvoso. Essa dinâmica está associada ao comportamento espectral da vegetação (PONZONI, 2007; CHAVES *et al.*, 2013), vinculado a refletância das plantas, morfologia e composição. Dessa forma, a resposta espectral é influenciada pelo regime hidrológico. Outro elemento que pode influenciar o comportamento espectral da vegetação é o tipo de solo, que segundo Moraes Novo (2010, p.257) a “vegetação é sensível à refletância do solo”.

Para analisar a variabilidade sazonal da vegetação de diversas temporalidades, dados obtidos por sensores orbitais e sobrepostos aos índices de vegetação, fornecem informações de maior precisão e auxiliam nos estudos ambientais:

A principal motivação dos estudos em vegetação envolvendo a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto fundamenta-se na compreensão da “aparência” que uma dada cobertura vegetal assume em um determinado produto de sensoriamento remoto, a qual é fruto de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais. (PONZONI, 2015, p.78).

Diversos estudos que utilizam técnicas do sensoriamento remoto vêm sendo amplamente empregados em pesquisas que visam identificar as transformações na vegetação de Caatinga. Uma dessas técnicas é a aplicação de Índices de Vegetação (IV), modelos matemáticos vinculados à refletância da cobertura vegetal (MORAES NOVO, 2010).

A Caatinga é composta por uma complexidade vegetacional, onde diversos pesquisadores buscam utilizar mais de um tipo de IV para analisar a sazonalidade da vegetação e as suas transformações (CHAVES *et al.*, 2013; GUEDES e SILVA, 2018; LUZ *et al.*, 2022). A escolha do IV pode variar de acordo com o objetivo do estudo.

Como a vegetação de Caatinga perde as folhas no período de estiagem/seca, o solo desse ambiente fica exposto e de acordo com Chaves (2013) esse solo possui características químicas que o tornam em sua maioria mais claro e essas condições influenciam na reflectância dos alvos. Isso pode comprometer a resposta espectral e conseqüentemente a precisão dos resultados. Desse modo, é evidenciada a necessidade de se utilizar mais de um tipo de IV para obter dados mais verossímeis (MALDONADO, 2005).

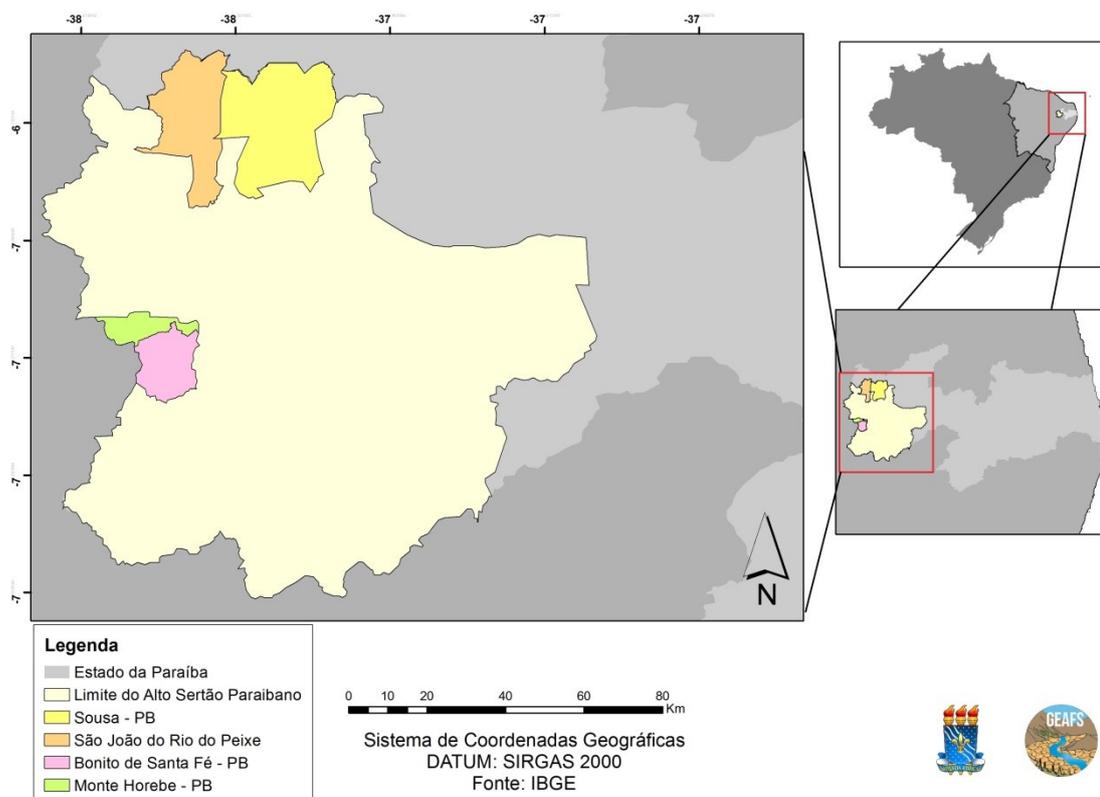
São usados nesse processo: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), que auxilia a partir do realce da vegetação a análise de suas alterações e o Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (IVAS), usado para minimizar o efeito de *background* do solo, ou seja, realiza uma correção da reflectância (SENA, 2017; ARAÚJO, 2018).

O IVDN e o IVAS vêm sendo amplamente empregados para monitorar as alterações da vegetação de Caatinga. O objetivo primordial do IVDN é realçar a vegetação em estado sadio ou mais esverdeada (SANTOS *et al.*, 2020). Essa operação é realizada por meio de equações entre as bandas espectrais. A reflectância maior ocorre no comprimento de ondas do infravermelho próximo e os valores podem variar de -1 a 1, avaliando a variação da área verde (PONZONI, 2007). O IVAS é utilizado para monitorar a vegetação no período seco, visto que a resposta espectral do solo, devido suas características físicas, refletem mais que a vegetação (CHAVES *et al.*, 2013). Dessa forma, os IV auxiliam a compreensão do comportamento da vegetação, fornecendo respostas para sua relação com a precipitação, por meio de séries históricas.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

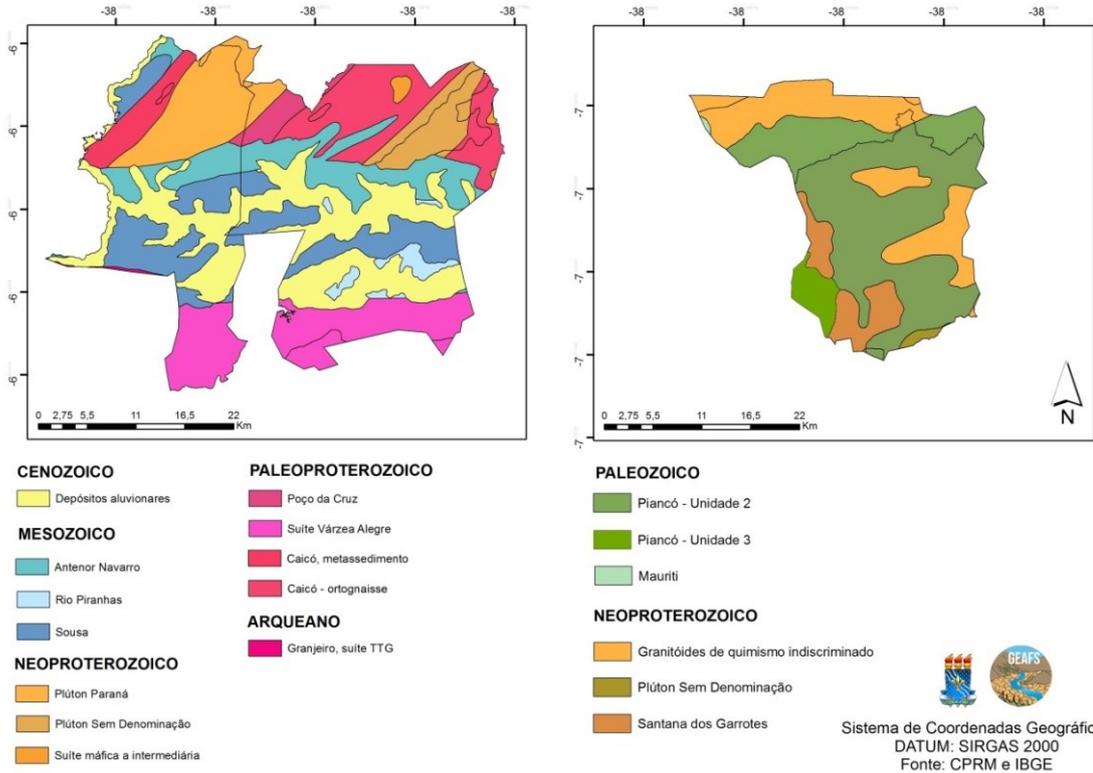
O Alto Sertão paraibano é caracterizado por uma diversidade paisagística atrelada aos aspectos geológicos, geomorfológicos e climáticos (Mapa 01). O semiárido é definido pelo seu regime irregular de chuvas e sua distribuição espacial. Em algumas áreas do Alto Sertão a precipitação anual é acima de 800 mm, outros pontos inseridos na mesma região podem atingir médias anuais inferiores a 600 mm. Todos esses fatores influenciam diretamente nas formações da vegetação e nas suas composições.

Mapa 01 – Localização da área de estudo

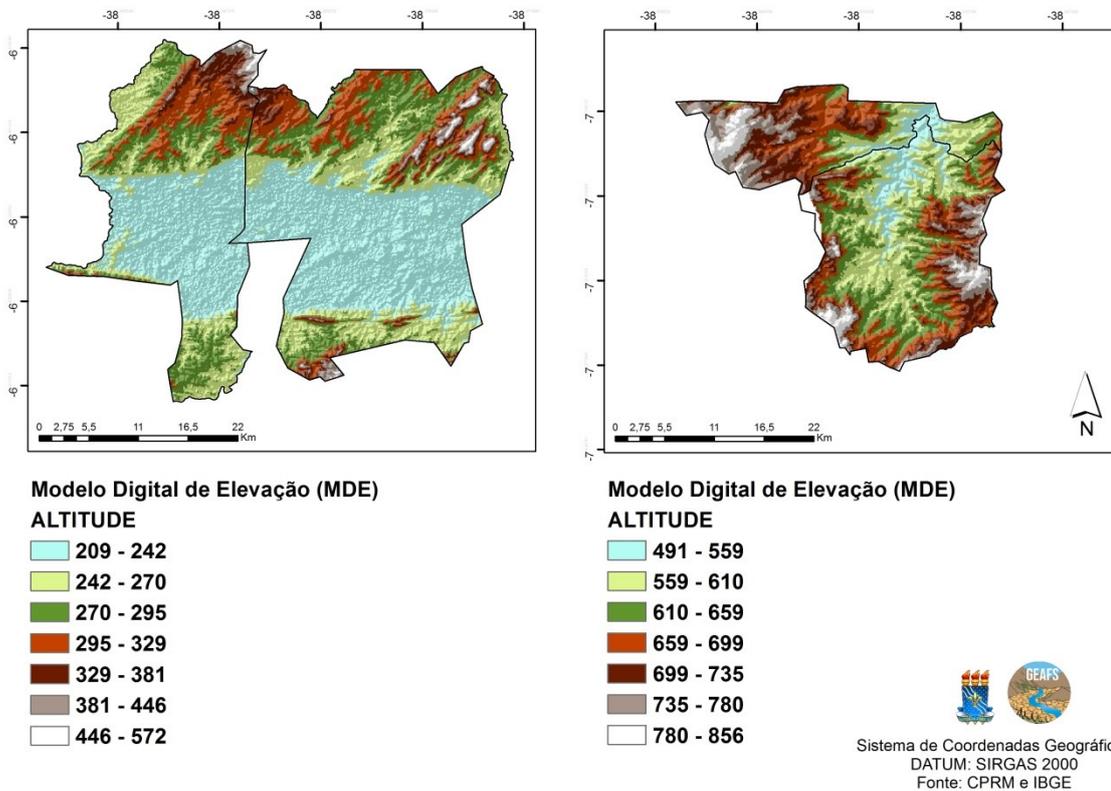


Os cenários geológicos cristalinos analisados nessa pesquisa concentraram-se nos municípios de Monte Horebe – PB e Bonito de Santa Fé – PB, áreas compostas por xisto, granito, diorito, monzonito, entre outros. Esses municípios possuem formação vegetacional parcialmente conservada. Tratando-se dos cenários geológicos sedimentares, optaram-se pelos municípios de Sousa – PB e São João do Rio do Peixe – PB, áreas caracterizadas por arenito, arcoseano, argilito, migmatito e monzorodiorito (Mapas 02 e 03).

Mapa 02 – Geologia da área de estudo



Mapa 03 – Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo



No aspecto da altitude, a área de interesse possui uma variabilidade significativa. Os municípios de Bonito de Santa Fé - PB e Monte Horebe – PB, que são as áreas de afloramento rochoso, possui elevação acima dos 850 metros. Os municípios de Sousa – PB e São João do Rio do Peixe - PB, possuem altitude inferior a 600 metros, atingindo médias de 200 metros.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As etapas metodológicas foram segmentadas da seguinte forma: (a) escolha dos pontos que possuem disponibilidade de dados de precipitação dos últimos vinte anos e áreas de vegetação parcialmente conservada; (b) seleção de imagens de satélite em diferentes períodos, como chuvoso (C), seco (S) e habitual (H), de acordo com metodologia aplicada por Sena (2017) e Araújo (2018); (c) coleta de dados de uso e ocupação da terra; (d) identificação da relação da sazonalidade da vegetação de Caatinga correlacionando índices de vegetação e dados de chuva acumulada e (e) análise das transformações geradas na vegetação nos cenários geológico cristalino e sedimentar.

Após a escolha da área de estudo, buscou-se imagens de satélite de diferentes períodos, como chuvoso, pós-chuvoso e seco, para identificação do comportamento sazonal da vegetação e dados de chuva para análise dos padrões de precipitação. Essas imagens de satélite foram selecionadas a partir da disponibilidade no que se refere ao aspecto da nebulosidade, compreendendo os “parâmetros atmosféricos que interferem nas medidas de reflectância como a umidade atmosférica” (MORAES NOVO, 2010 p.253). Nesse sentido, foram determinadas as seguintes datas: 24/09/2000 (período seco); 15/07/2003 (período pós-chuvoso); 26/07/2007 (período pós-chuvoso); 03/10/2009 (período seco); 26/05/2014 (período chuvoso); 07/11/2016 (período seco); 22/04/2019 (período chuvoso); 21/11/2021 (período seco) e 08/03/2023 (período chuvoso).

Antes da confecção e elaboração dos mapas temáticos com classes dos IV, foram executados pré-processamentos das imagens de satélite, como correção de ruídos e correção de ortorretificação (geométrica). A correção atmosférica foi aplicada somente para o *Landsat 5 sensor TM*, visto que imagens do *Landsat 8 sensor OLI* do Nível 2 possuem na sua configuração a correção atmosférica. As imagens de satélite utilizadas foram retiradas do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

Executado o pré-processamento das imagens no *Software ArcGis*, foram aplicados os índices IVDN e IVAS. O IVDN é a divisão resultante entre as bandas do infravermelho próximo e do vermelho e visa obter os níveis de reflectância da vegetação (ARAÚJO, 2018). Para o *Landsat 5* são utilizadas a Banda 3 (vermelho) e

Banda 4 (infravermelho próximo) e para o *Landsat 8* são utilizadas a Banda 4 (vermelho) e Banda 5 (infravermelho próximo) (Equação 01):

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V}$$

A aplicação do IVAS se baseia na correção da reflectância do solo, relacionado ao fator L, vinculado a densidade da vegetação, variando de: 1 para solo exposto; 0,5 para vegetação em estágio médio e 0,25 para vegetação em estágio de densidade alta da cobertura vegetal (ARAÚJO, 2018; LUZ *et. al.*, 2022), sendo utilizado nesse estudo o fator L igual a 1 (Equação 02):

$$SAVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)} \times (1 + L)$$

No que se refere à classificação utilizada para padronização dos índices, foram utilizados os valores de: < 0,13 (solo exposto); 0,22 (muito baixa); 0,31 (baixa); 0,40 (moderadamente baixa); 0,49 (moderadamente alta) e 0,57 (alta), de acordo com Costa *et. al.*, (2020).

Os ciclos hidrológicos no Bioma Caatinga envolvem diversos fatores e um dos elementos chaves da complexidade que integra o sistema ambiental está relacionado a não linearidade e dinâmica de retroalimentação. Compreendendo esses aspectos e abarcando a noção holística na análise desses processos vinculados a sazonalidade e padrões de precipitação, buscou-se imagens de satélite que refletissem essas variações. Extraíram-se imagens de satélite de diferentes períodos, como chuvoso (março, abril e maio), pós-chuvoso (julho) e seco (setembro, outubro e novembro).

Tratando-se dos dados de precipitação, foram utilizados dados de chuva diária, fornecidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs). Com a apropriação desses dados secundários, essas informações foram organizadas no programa *Excel* para auxiliar no entendimento da dinâmica e espacialização dos dados de precipitação da área de estudo. Optou-se dessa forma, por analisar a chuva acumulada dos últimos 30 dias (mm); 60 dias (mm); 120

dias (mm); 180 dias (mm); 1 ano (mm) e 2 anos (mm). O parâmetro para análise dos dados de chuva foi definido a partir da data das imagens de satélite. Os dados de chuva fornecidos pela AESA, nesse caso da região do Alto Sertão paraibano, estão disponíveis a partir do ano de 1994. Nessa pesquisa, utilizamos médias diárias de chuva a partir do ano 2000.

Buscamos realizar a análise das imagens de satélite utilizando como parâmetro a correlação entre os períodos. Assim, optamos pelos anos de 15/07/2003 e 26/07/2007, compreendendo esse período como pós-chuvoso; 24/05/2014 e 08/03/2023, como período chuvoso; 07/11/2016 e 21/11/2021, como período seco. A princípio, o objetivo primordial dessa escolha se deu por serem imagens de anos diferentes e do mesmo mês, como as imagens do período pós-chuvoso e seco, além de meses próximos, como as imagens do período chuvoso.

Para identificar o uso e ocupação da terra, foram usados dados do Mapbiomas Brasil, concentrando a região do Bioma Caatinga. Para elaboração dos mapas temáticos foram utilizados dois mosaicos, sendo os anos de 2000 e 2021. O objetivo da análise do uso e ocupação da terra se baseou principalmente na identificação das alterações geradas no intervalo de vinte anos nas unidades classificadas pelo MapBiomas como formação florestal e formação savânica.

Para constatar o grau de linearidade e a correlação entre as variáveis dos índices de vegetação (IVDN e IVAS) e os dados de chuva acumulada de espaçamento diário, foram elaborados gráficos de dispersão no programa Excel. Esses gráficos representam medidas separadas e geram uma linha de tendência, representada pelo coeficiente de determinação R^2 , associado a variáveis distintas e determina quão ajustado o modelo estatístico usado está. Essa correlação entre as variáveis possui coeficientes vinculados a um valor positivo (0 e 1). Quanto mais próximo do 1 positivo, mais forte é a correlação, e, por sua vez, quanto mais próximo do 0, a correlação tende a ser nula ou fraca. Esses valores variam de: 1 a 0,8 (correlação forte); 0,5 (correlação média); 0,3 (correlação fraca) e 0 (correlação nula). A equação de correlação aplicada entre as médias dos índices de vegetação (IVDN e IVAS) e os dados de chuva acumulada foi elaborada no programa *Excel* a partir de gráficos de dispersão e linha de tendência. O objetivo principal dessa etapa é compreender qual método mais se adequa para realizar a análise do

comportamento sazonal da vegetação de Caatinga a partir de índices de vegetação e dados de chuva acumulada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O período de estiagem/seca no Bioma Caatinga é caracterizado principalmente pela diminuição das chuvas e redução da cobertura vegetal. Nos meses mais secos, as médias são inferiores a 20 mm de volume de chuva (mensal). A análise da chuva acumulada teve como parâmetro a data das imagens de satélite (Tabelas 01, 02, 03 e 04).

Referindo-se as médias que foram obtidas através da aplicação dos índices de vegetação, evidenciaram-se variações para cada período. Nas imagens do período seco, a média variou de 0,12 à 0,18 e para as imagens do período chuvoso houve variação de 0,23 à 0,69. As médias de IVDN e IVAS acima de 0,30 estão relacionadas diretamente com o acúmulo de chuva, como mostram os valores das imagens de 2014, 2019 e 2023. Onde o acúmulo de chuva com maiores variações se concentram entre 90 dias (mm) e 120 dias (mm).

Tabela 01 - Chuva acumulada e média dos índices de vegetação do município de Monte Horebe – PB

| Imagens | CA - 30 dias | CA - 60 dias | CA - 90 dias | CA - 120 dias | CA - 180 dias | CA - 1 ano | CA - 2 anos | IVDN (média) | IVAS (média) |
|------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|------------|-------------|--------------|--------------|
| 24/09/2000 | 7,2 | 21,8 | 45,6 | 52,8 | 320 | 1100 | 1725 | 0,14 | 0,20 |
| 15/07/2003 | 5,6 | 82 | 166 | 361 | 681 | 725 | 1589 | 0,29 | 0,44 |
| 26/07/2007 | 2,2 | 68,6 | 113 | 164,4 | 479 | 549 | 1554 | 0,14 | 0,21 |
| 03/10/2009 | 0 | 10,6 | 21,8 | 32 | 523 | 837 | 2210 | 0,20 | 0,29 |
| 26/05/2014 | 38 | 266 | 365 | 451 | 625 | 710 | 1340 | 0,35 | 0,52 |
| 07/11/2016 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15,6 | 425 | 1106 | 0,18 | 0,27 |
| 22/04/2019 | 242 | 358 | 503 | 642 | 772 | 920 | 1786 | 0,46 | 0,69 |
| 21/11/2021 | 35 | 39 | 46,8 | 48,3 | 103 | 800 | 1942 | 0,21 | 0,31 |
| 08/03/2023 | 125 | 262 | 330,7 | 420 | 548 | 1170 | 2140 | 0,39 | 0,58 |

Fonte: Elaboração própria (2023)

Tabela 02 - Chuva acumulada e média dos índices de vegetação do município de Bonito de Santa Fé – PB

| Imagens | CA - 30 dias | CA - 60 dias | CA - 90 dias | CA - 120 dias | CA - 180 dias | CA - 1 ano | CA - 2 anos | IVDN (média) | IVAS (média) |
|------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|------------|-------------|--------------|--------------|
| 24/09/2000 | 37,6 | 43,6 | 55,6 | 46,6 | 443,6 | 1031 | 1616 | 0,12 | 0,18 |
| 15/07/2003 | 0 | 13 | 52,2 | 218 | 500 | 506,2 | 1399 | 0,19 | 0,28 |
| 26/07/2007 | 2,5 | 36,4 | 83 | 138 | 442,4 | 510,4 | 1397 | 0,12 | 0,18 |
| 03/10/2009 | 0 | 17,2 | 32,7 | 32,7 | 444 | 850 | 2017 | 0,17 | 0,25 |
| 26/05/2014 | 68,5 | 322,8 | 440 | 518 | 676 | 817,6 | 1435 | 0,33 | 0,50 |
| 07/11/2016 | 17 | 17 | 17 | 17 | 35 | 445 | 1090 | 0,16 | 0,23 |
| 22/04/2019 | 235 | 351 | 577 | 596 | 785 | 949 | 1775 | 0,46 | 0,69 |
| 21/11/2021 | 89,6 | 102 | 129 | 129 | 166 | 840,4 | 2029 | 0,17 | 0,25 |
| 08/03/2023 | 79,3 | 178,4 | 226 | 297 | 371 | 873 | 1694 | 0,38 | 0,56 |

Fonte: Elaboração própria (2023)

Tabela 03 - Chuva acumulada e média dos índices de vegetação do município de São João do Rio do Peixe – PB

| Imagens | CA - 30 dias | CA - 60 dias | CA - 90 dias | CA - 120 dias | CA - 180 dias | CA - 1 ano | CA - 2 anos | IVDN (média) | IVAS (média) |
|------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|------------|-------------|--------------|--------------|
| 24/09/2000 | 10 | 39,4 | 113 | 195,8 | 602,6 | 1454 | 2085 | 0,13 | 0,20 |
| 15/07/2003 | 28 | 28 | 268 | 416 | 743 | 797 | 1804 | 0,20 | 0,30 |
| 26/07/2007 | 20 | 119,4 | 188 | 304 | 630 | 712,3 | 1919 | 0,16 | 0,23 |
| 03/10/2009 | 0 | 22 | 45,5 | 69,3 | 796 | 1375 | 2829 | 0,15 | 0,23 |
| 26/05/2014 | 13,8 | 156,2 | 331 | 562,2 | 633,5 | 837 | 1368 | 0,23 | 0,35 |
| 07/11/2016 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 744 | 1246 | 0,17 | 0,26 |
| 22/04/2019 | 145 | 261 | 333 | 398 | 509 | 530 | 1353 | 0,38 | 0,56 |
| 21/11/2021 | 8 | 10,6 | 10,6 | 15,3 | 16,5 | 787,3 | 1811 | 0,17 | 0,26 |
| 08/03/2023 | 138 | 211 | 230 | 331 | 436,5 | 1002 | 1973 | 0,36 | 0,54 |

Fonte: Elaboração própria (2023)

Tabela 04 - Chuva acumulada e média dos índices de vegetação do município de Sousa – PB

| Imagens | CA - 30 dias | CA - 60 dias | CA - 90 dias | CA - 120 dias | CA - 180 dias | CA - 1 ano | CA - 2 anos | IVDN (média) | IVAS (média) |
|------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|------------|-------------|--------------|--------------|
| 24/09/2000 | 10,5 | 33,3 | 126 | 194,2 | 455 | 1184 | 1717 | 0,14 | 0,21 |
| 15/07/2003 | 22 | 36,2 | 127 | 293 | 650 | 654 | 1574 | 0,22 | 0,33 |
| 26/07/2007 | 18 | 103,5 | 195 | 313 | 676,3 | 750 | 1881 | 0,17 | 0,25 |
| 03/10/2009 | 0 | 46,4 | 82,7 | 154 | 766 | 1093 | 2499 | 0,18 | 0,27 |
| 26/05/2014 | 13,5 | 236,4 | 450 | 629,2 | 838,5 | 1167 | 1768 | 0,28 | 0,42 |
| 07/11/2016 | 9 | 9 | 9 | 9 | 59 | 829 | 1489 | 0,17 | 0,26 |
| 22/04/2019 | 328 | 419 | 855 | 1058 | 1216 | 1257 | 2181 | 0,40 | 0,60 |
| 21/11/2021 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 14 | 732,6 | 1918 | 0,17 | 0,25 |
| 08/03/2023 | 140,3 | 290,5 | 336,3 | 394 | 434,4 | 829 | 1907 | 0,37 | 0,56 |

Fonte: Elaboração própria (2023)

Os dados de chuva acumulada de diferentes períodos hídricos associados aos índices de vegetação auxiliam no entendimento acerca da sazonalidade da vegetação a partir da resposta espectral que reflete o nível de densidade da cobertura vegetal. Com a organização dos dados de chuva acumulada é possível identificar os ciclos de precipitação de dois anos de chuva acumulada para os municípios analisados. Alguns trabalhos, como o de Stan e Sanchez-Azofeifa (2019), evidenciam a importância dessas chuvas anteriores para a produção de biomassa, que influenciam diretamente na resposta da vegetação.

As imagens do período pós-chuvoso dos municípios de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé, área de cenário geológico cristalino, apresentaram variações nos índices de vegetação, principalmente para o índice de vegetação da imagem de 15/07/2003 do município de Monte Horebe, que atingiu o valor de 0,29 (IVDN) e 0,44 (IVAS), onde o município de Bonito de Santa Fé atingiu a média de 0,19 (IVDN) e 0,28 (IVDN). Houve variação no acúmulo de chuva referente a 1 ano (mm) entre esses municípios. O volume de chuva de Monte Horebe, na imagem de satélite referente ao período 15/07/2003, compreendido como pós-chuvoso, em 1 ano (mm) foi de 725 mm. Não obstante, o município de Bonito de Santa Fé teve o volume de chuva em 1 ano (mm) de 506 mm. Essas variações reconfiguram e controlam os aspectos vegetacionais, compreendendo também a influência que a temperatura e a disponibilidade de água para as plantas exercem.

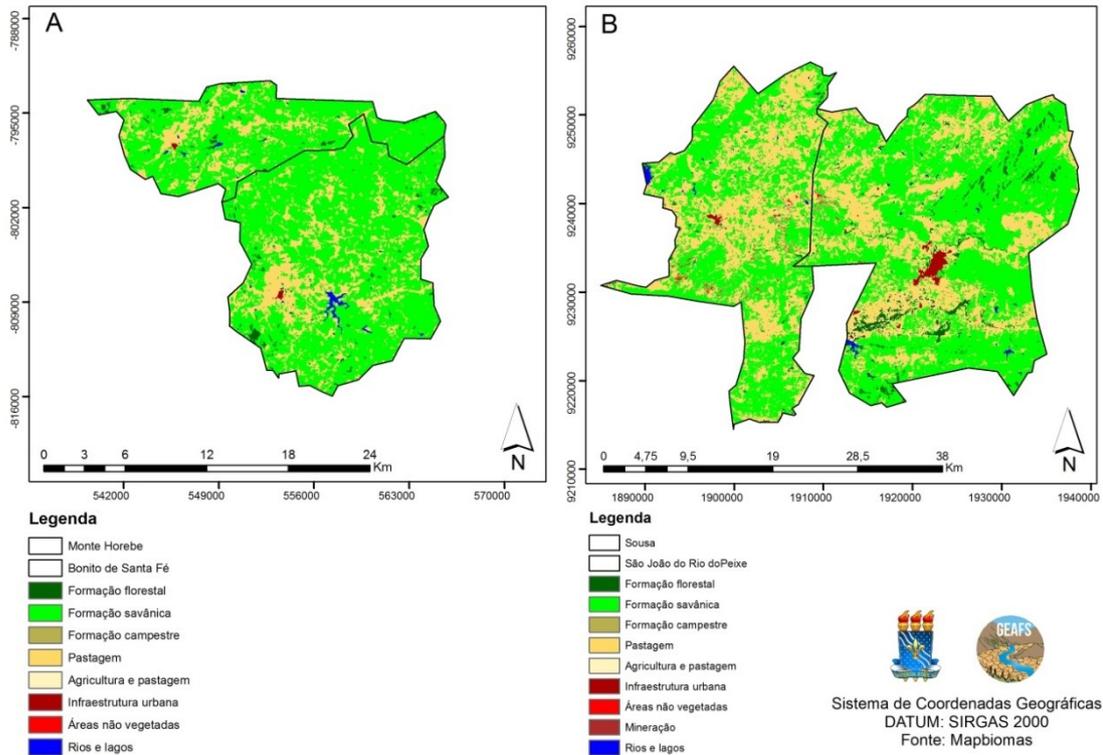
Os municípios de São João do Rio do Peixe e Sousa, área de formação geológica sedimentar, não apresentaram uma variação significativa entre os anos do período pós-chuvoso. No entanto, houve um volume de chuva maior para a imagem do ano de 2007 (1.881 mm de chuva acumulada em 2 anos) em comparação ao mesmo período do ano de 2003 (1.574 mm de chuva acumulada em 2 anos) para o município de Sousa.

Em relação às imagens de satélite do período chuvoso para os municípios de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé, houve variação entre os municípios na chuva acumulada de 30 dias (mm), 1 ano (mm) e 2 anos (mm), e variação na média do índice de vegetação. Para os municípios de São João do Rio do Peixe e Sousa, as maiores variações foram no intervalo de 30 dias (mm) e 2 anos (mm).

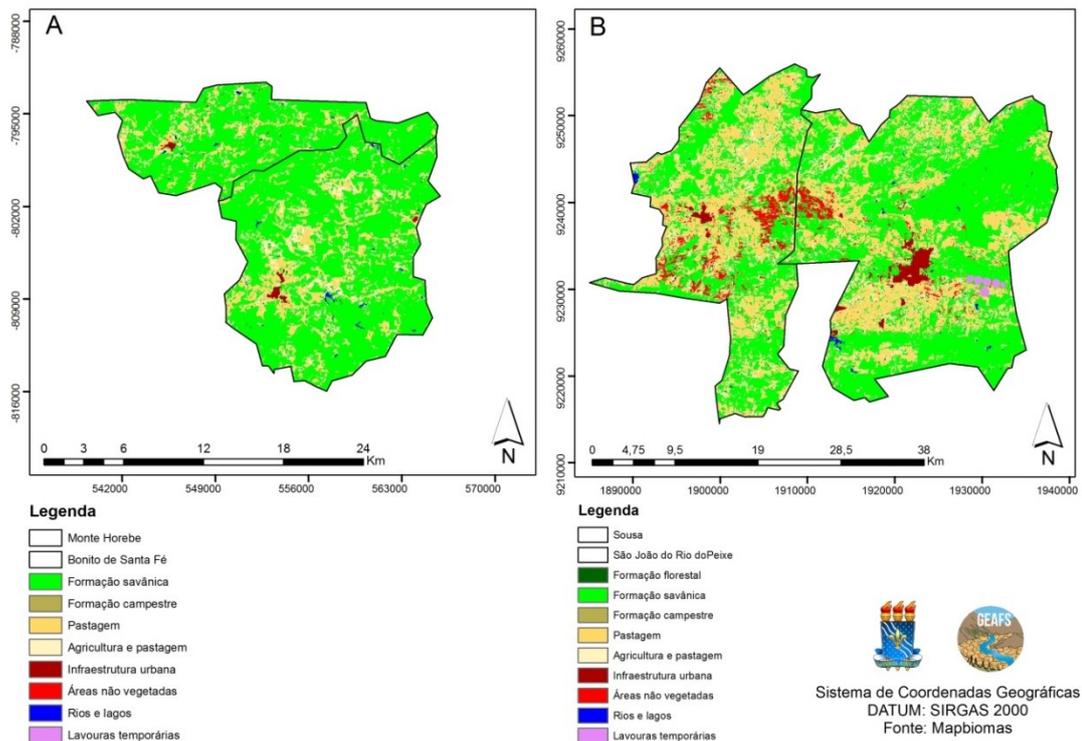
As imagens do período seco apresentaram significativas variações no volume de chuva acumulada no ciclo de 2 anos (mm) em todas as áreas analisadas, esse volume foi bem menor para o ano de 2016. Em relação à variação da média dos índices de vegetação, os anos de 2000 e 2016 apresentam os valores mais baixos, variando de 0,12 a 0,17 em todos os municípios. O município de Monte Horebe teve chuva acumulada de 425 mm em 1 ano referente à imagem de ano de 2016 e 1.106mm no ciclo de 2 anos. Para o município de Bonito de Santa Fé, a chuva acumulada foi de 445 mm em 1 ano e 1.090 mm em 2 anos. Para a imagem de 2021, houve variação relativamente alta comparada ao ano de 2016. O ciclo chuvoso de 1 ano (mm) e 2 anos (mm) atingiram volumes superiores a 800 mm e acima de 1.900 mm no ciclo de 2 anos. Os municípios de São João do Rio do Peixe e Sousa apresentaram maiores variações no ciclo de 2 anos (mm), com uma diferença de 500 mm entre os anos de 2016 e 2021.

A condição climática, geológica e geomorfológica, controlam aspectos vinculados ao uso e ocupação da terra. Identificar as possíveis transformações e alterações geradas na vegetação de Caatinga nos auxilia a compreender como o uso da terra pode influenciar na sazonalidade da vegetação e o impacto nos padrões de precipitação em áreas de contextos geológicos distintos (Mapas 04 e 05).

Mapa 04 – Uso e ocupação da terra no ano de 2000; A) Monte Horebe e Bonito de Santa Fé; B) São João do Rio do Peixe e Sousa



Mapa 05 – Uso e ocupação da terra no ano de 2021; A) Monte Horebe e Bonito de Santa Fé; B) São João do Rio do Peixe e Sousa



As mudanças identificadas no uso e ocupação da terra dos municípios nos fornecem informações acerca das alterações geradas na vegetação de Caatinga no intervalo de vinte anos (Tabela 05).

Tabela 05 – Composição da formação florestal e savânica no intervalo de vinte anos

| Municípios | Formação florestal - 2000 (km²) | Municípios | Formação florestal - 2021 (km²) | Remanescente (%) |
|--------------------------|---|--------------------------|---|-------------------------|
| Sousa | 30.682 | Sousa | 193 | 0,6 |
| São João do Rio do Peixe | 4.138 | São João do Rio do Peixe | 13 | 0,3 |
| Bonito de Santa Fé | 3.471 | Bonito de Santa Fé | 28 | 0,8 |
| Monte Horebe | 2.202 | Monte Horebe | 0 | 0 |
| Municípios | Formação savânica - 2000 (km²) | Municípios | Formação savânica - 2021 (km²) | Remanescente (%) |
| Sousa | 511.756 | Sousa | 498.681 | 97,4 |
| São João do Rio do Peixe | 276.968 | São João do Rio do Peixe | 247.883 | 89,4 |
| Bonito de Santa Fé | 192.250 | Bonito de Santa Fé | 190.697 | 99 |
| Monte Horebe | 98.904 | Monte Horebe | 102.616 | 103,7 |

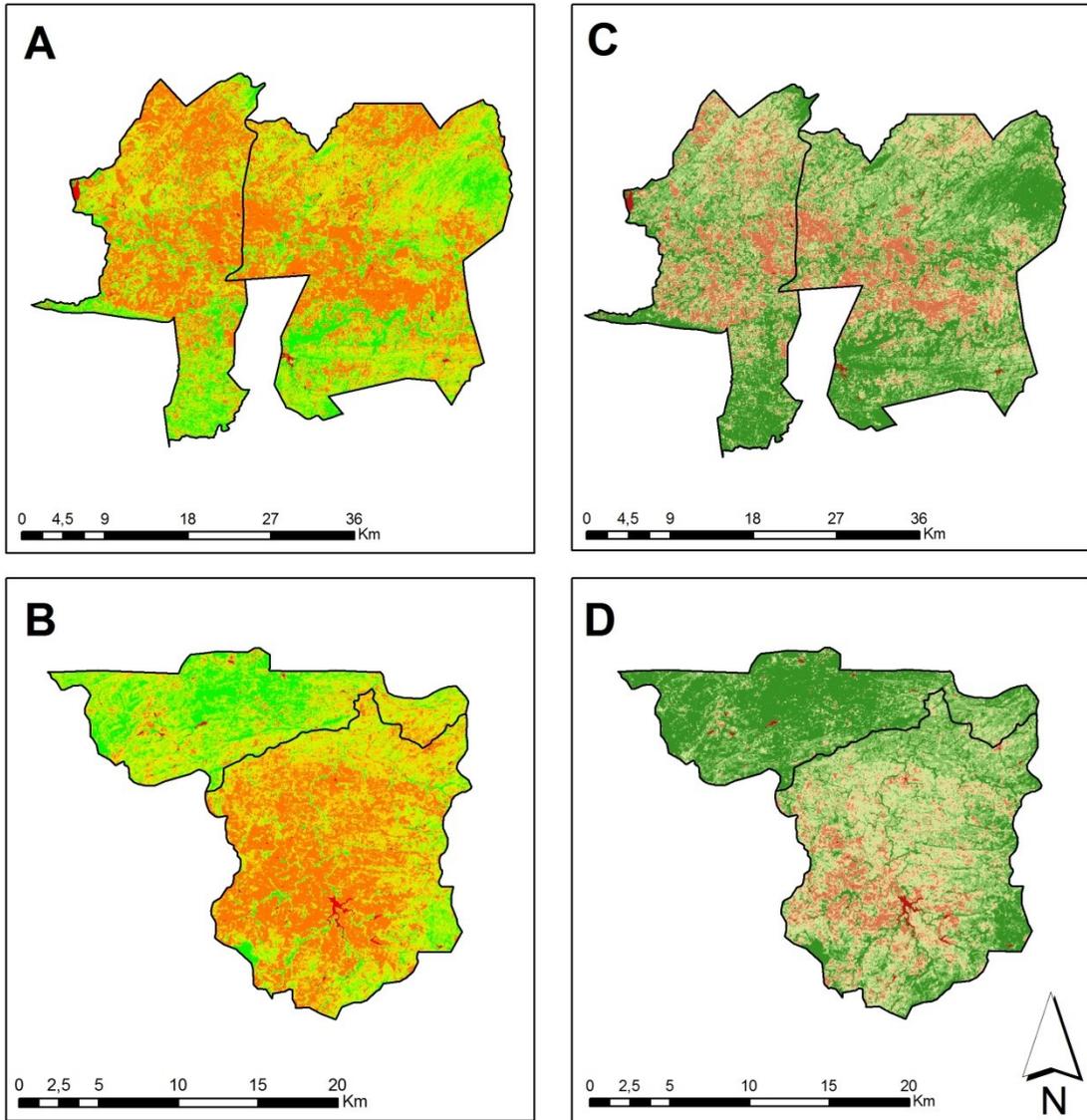
Fonte: Elaboração própria (2023)

O uso e ocupação da terra influenciam os ciclos de precipitação e, conseqüentemente, a dinâmica de sazonalidade da vegetação de Caatinga. Houve variações significativas no intervalo de vinte anos na formação florestal de todos os municípios analisados, registrando uma redução acima de 96% de formação florestal em todas as áreas. Essas reduções na formação florestal interferem na sazonalidade e impactam os ciclos hidrológicos, afetando o equilíbrio natural. Essas reduções são impulsionadas pela expansão da agricultura e pastagem, principalmente nas áreas de formação geológica sedimentar.

Nos mapas 06 e 07 são apresentadas as distribuições espaciais dos índices de vegetação (IVDN e IVAS) para o período definido como pós-chuvoso, os mapas 08 e 11 do período definido como chuvoso e os mapas 09 e 10 do período definido como seco. Compreender a organização espacial dos elementos que integram a

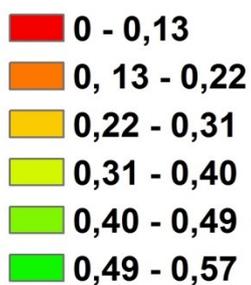
paisagem é importante para identificar as suas correlações (Mapas 06, 07, 08, 09, 10 e 11).

Mapa 06: (A) IVDN de São João do Rio do Peixe e Sousa; (B) IVDN de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé; (C) IVAS de São João do Rio do Peixe e Sousa; (D) IVAS de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé (Julho - 2003)



Classes de IVDN

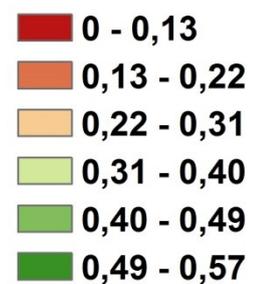
Julho - 2003



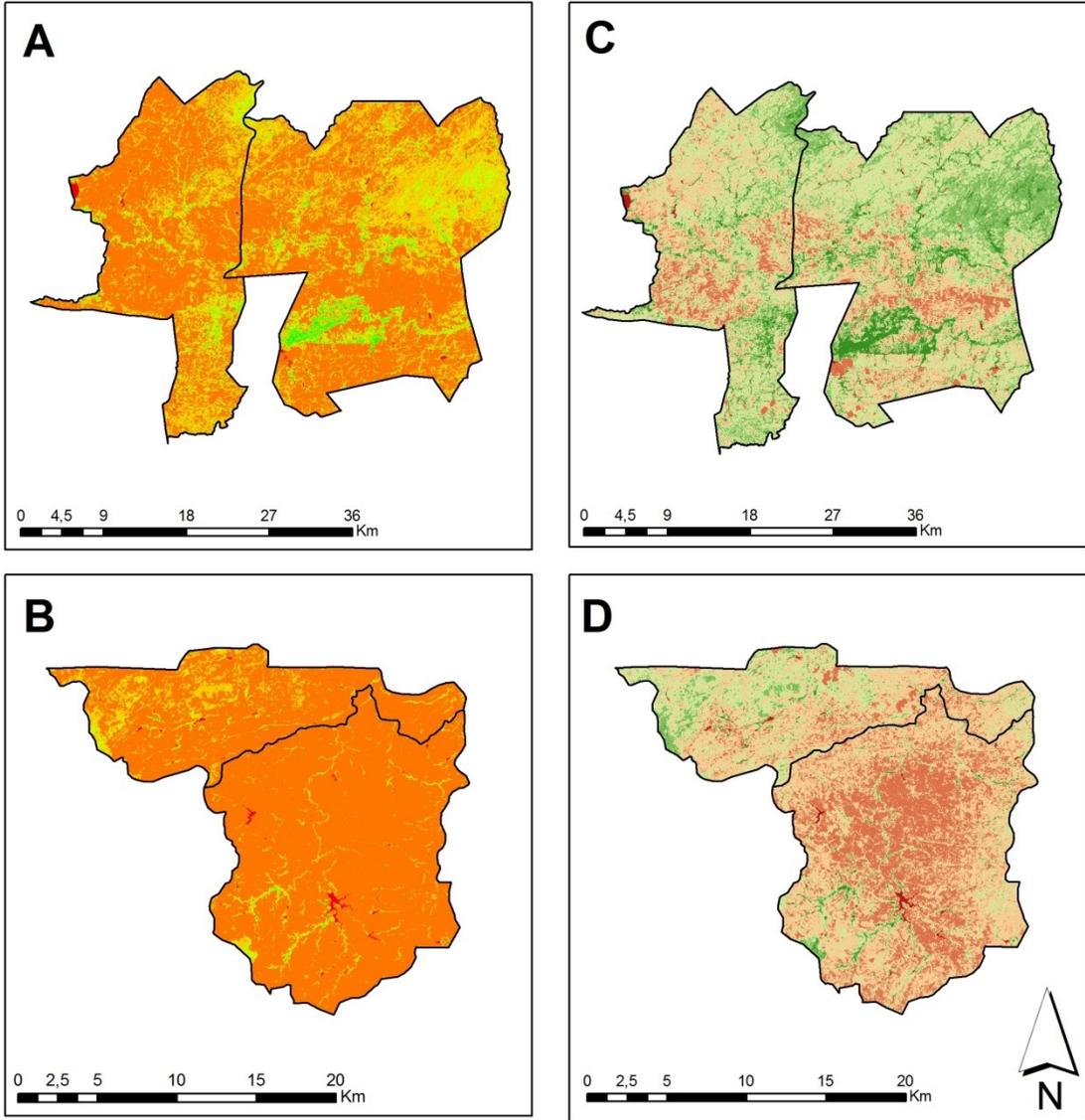
Sistema de Coordenadas Geográficas
DATUM: SIRGAS 2000
Fonte: USGS

Classes de IVAS

Julho - 2003



Mapa 07: (A) IVDN de São João do Rio do Peixe e Sousa; (B) IVDN de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé; (C) IVAS de São João do Rio do Peixe e Sousa; (D) IVAS de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé (Julho - 2007)



Classes de IVDN

Julho - 2007

- 0 - 0,13
- 0,13 - 0,22
- 0,22 - 0,31
- 0,31 - 0,40
- 0,40 - 0,49
- 0,49 - 0,57



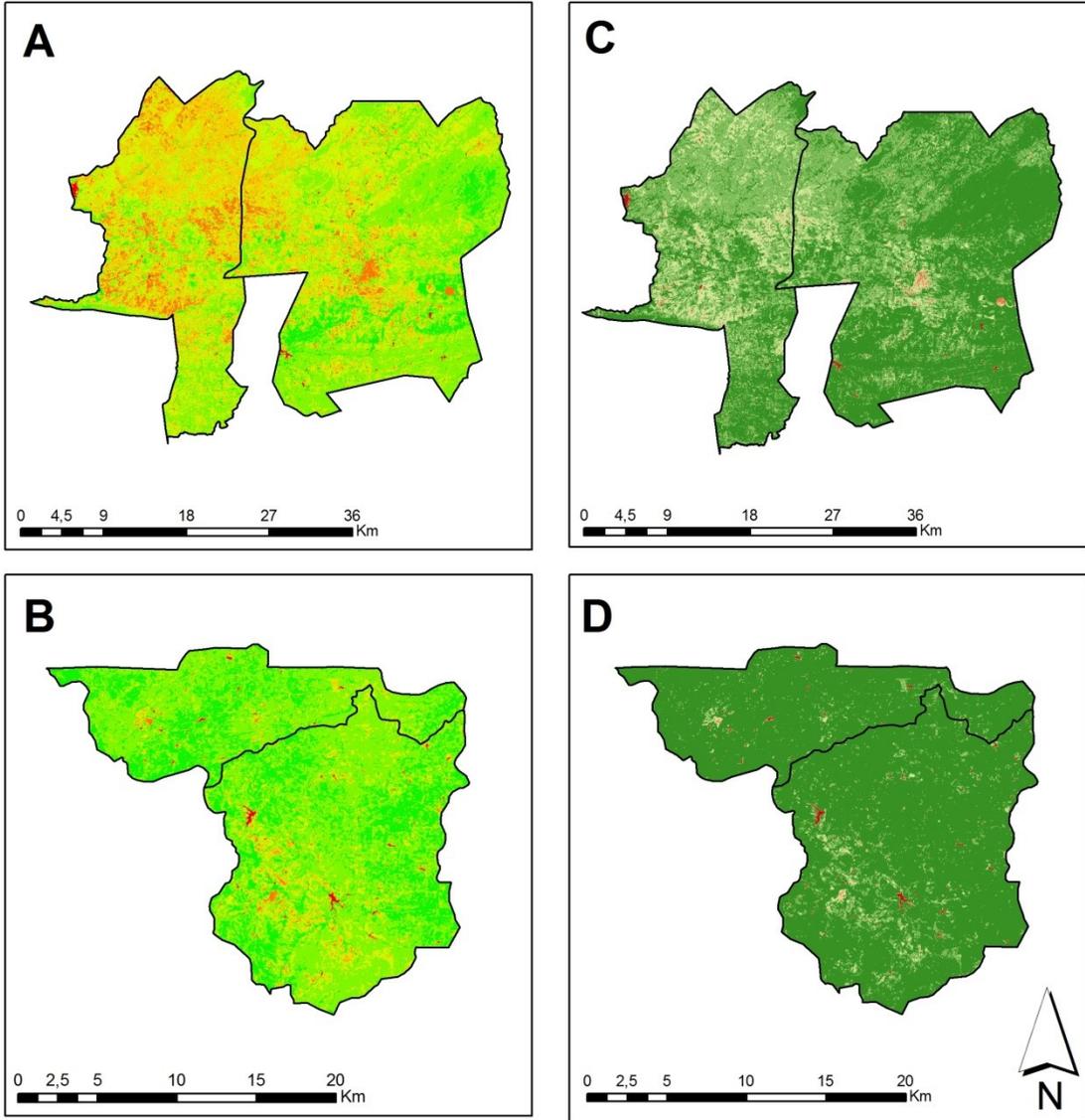
Sistema de Coordenadas Geográficas
 DATUM: SIRGAS 2000
 Fonte: USGS

Classes de IVAS

Julho - 2007

- 0 - 0,13
- 0,13 - 0,22
- 0,22 - 0,31
- 0,31 - 0,40
- 0,40 - 0,49
- 0,49 - 0,57

Mapa 08: (A) IVDN de São João do Rio do Peixe e Sousa; (B) IVDN de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé; (C) IVAS de São João do Rio do Peixe e Sousa; (D) IVAS de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé (Maio - 2014)



Classes de IVDN

Maio - 2014

- 0 - 0,13
- 0,13 - 0,22
- 0,22 - 0,31
- 0,31 - 0,40
- 0,40 - 0,49
- 0,49 - 0,57

Classes de IVAS

Maio - 2014

- 0 - 0,13
- 0,13 - 0,22
- 0,22 - 0,31
- 0,31 - 0,40
- 0,40 - 0,49
- 0,49 - 0,57

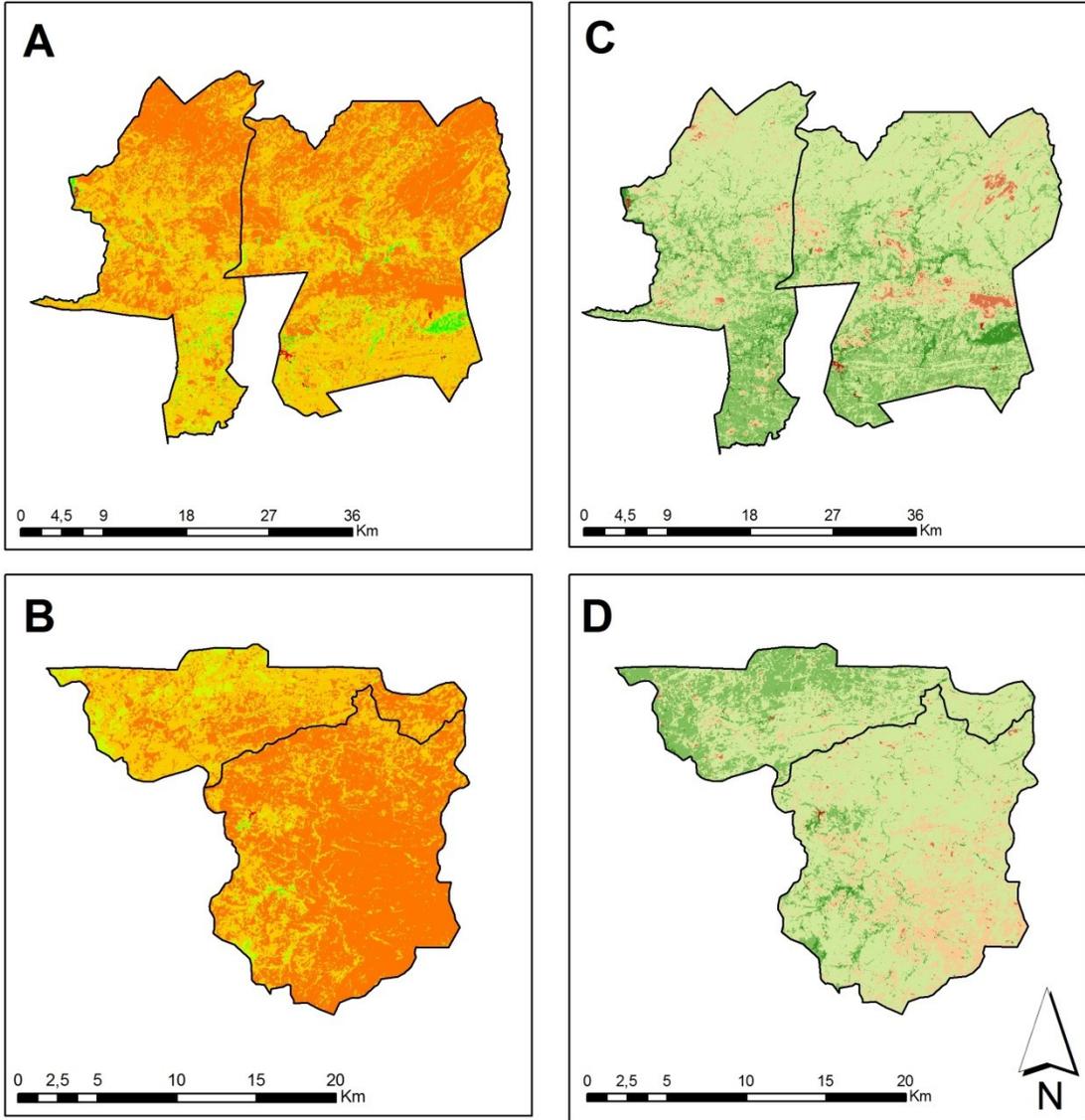


Sistema de Coordenadas Geográficas

DATUM: SIRGAS 2000

Fonte: USGS

Mapa 09: (A) IVDN de São João do Rio do Peixe e Sousa; (B) IVDN de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé; (C) IVAS de São João do Rio do Peixe e Sousa; (D) IVAS de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé (Novembro - 2016)



Classes de IVDN
Novembro - 2016

- 0 - 0,13
- 0,13 - 0,22
- 0,22 - 0,31
- 0,31 - 0,40
- 0,40 - 0,49
- 0,49 - 0,57

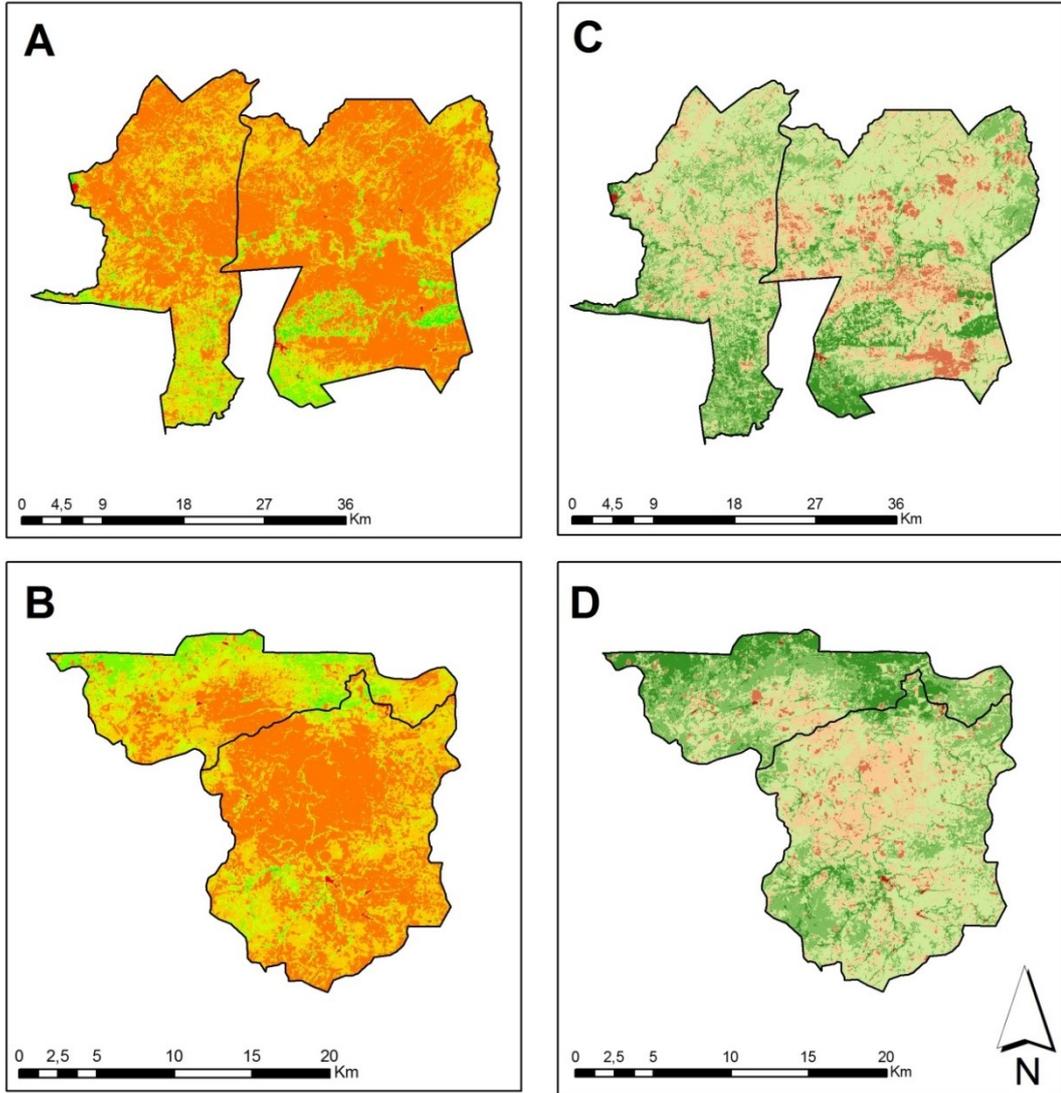
Classes de IVAS
Novembro - 2016

- 0 - 0,13
- 0,13 - 0,22
- 0,22 - 0,31
- 0,31 - 0,40
- 0,40 - 0,49
- 0,49 - 0,57



Sistema de Coordenadas Geográficas
 DATUM: SIRGAS 2000
 Fonte: USGS

Mapa 10: (A) IVDN de São João do Rio do Peixe e Sousa; (B) IVDN de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé; (C) IVAS de São João do Rio do Peixe e Sousa; (D) IVAS de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé (Novembro – 2021)



**Classes de IVDN
Novembro - 2021**

- 0 - 0,13
- 0,13 - 0,22
- 0,22 - 0,31
- 0,31 - 0,40
- 0,40 - 0,49
- 0,49 - 0,57

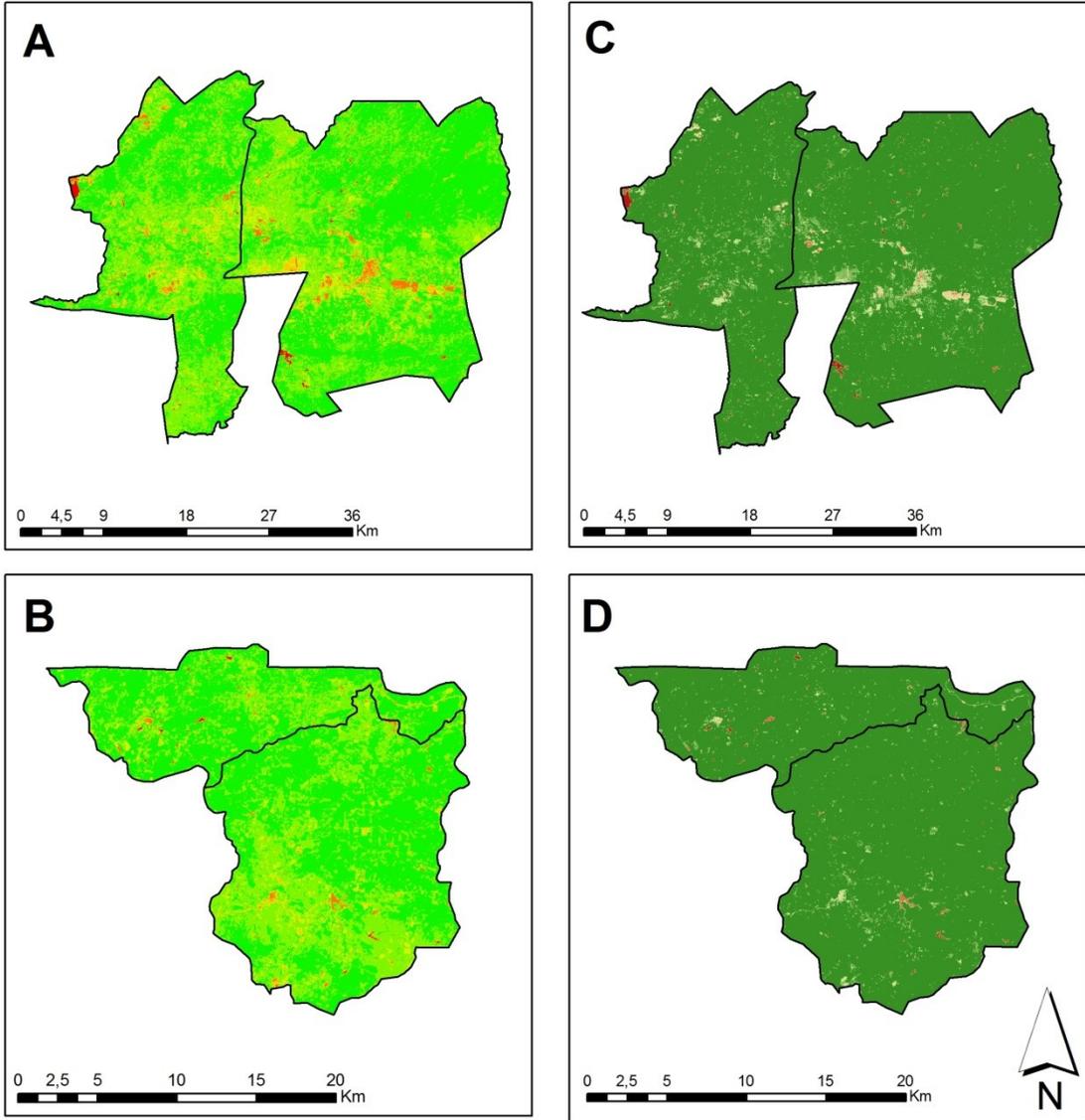


Sistema de Coordenadas Geográficas
DATUM: SIRGAS 2000
Fonte: USGS

**Classes de IVAS
Novembro - 2021**

- 0 - 0,13
- 0,13 - 0,22
- 0,22 - 0,31
- 0,31 - 0,40
- 0,40 - 0,49
- 0,49 - 0,57

Mapa 11: (A) IVDN de São João do Rio do Peixe e Sousa; (B) IVDN de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé; (C) IVAS de São João do Rio do Peixe e Sousa; (D) IVAS de Monte Horebe e Bonito de Santa Fé (Março - 2023)



Classes de IVDN

Março - 2023

- 0 - 0,13
- 0,13 - 0,22
- 0,22 - 0,31
- 0,31 - 0,40
- 0,40 - 0,49
- 0,49 - 0,57

Classes de IVAS

Março - 2023

- 0 - 0,13
- 0,13 - 0,22
- 0,22 - 0,31
- 0,31 - 0,40
- 0,40 - 0,49
- 0,49 - 0,57



Sistema de Coordenadas Geográficas

DATUM: SIRGAS 2000

Fonte: USGS

Os índices de vegetação (IVDN e IVAS) foram aplicados para identificar a sazonalidade da vegetação, associado à densidade da cobertura vegetal em diferentes estágios, como a percepção de maior esverdeamento (período chuvoso e pós-chuvoso) e o estágio de redução de vegetação (período seco).

Os mapas temáticos forneceram informações relevantes no aspecto da compreensão do comportamento da vegetação e como esses dados tendem a variar para cada período analisado. Nos mapas elaborados a partir de dados do período chuvoso e pós-chuvoso, os índices de vegetação atingiram médias que variam de 0,23 a 0,69, valores classificados como densidade da cobertura vegetal média e alta. Essa dinâmica da vegetação está associada diretamente ao padrão de precipitação, atrelado à temperatura e disponibilidade de água, vinculado aos ciclos de precipitação anteriores e uso da terra. Esses aspectos estão associados também à formação do relevo e declividade, onde são esses fatores que determinam o uso da terra.

No que se refere aos mapas elaborados a partir do período seco, o comportamento da vegetação é alterado drasticamente pela influência das características hidrológicas, onde os volumes de chuva são reduzidos e a vegetação também.

A partir da análise da correlação entre as variáveis (índice de vegetação e chuva acumulada), apresentada nas tabelas 06 e 07, foram elaboradas tabelas que apresentam o grau de correlação por meio do coeficiente de determinação R^2 (Tabelas 06 e 07).

Tabela 06 – Correlação de determinação R^2 entre a média dos índices de vegetação e chuva acumulada para o cenário geológico cristalino

| Chuva acumulada (mm) | Monte Horebe | | Bonito de Santa Fé | |
|----------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------|
| | IVDN | IVAS | IVDN | IVAS |
| | Correlação R^2 | Correlação R^2 | Correlação R^2 | Correlação R^2 |
| 30 dias | 0,7164 | 0,7126 | 0,6589 | 0,6589 |
| 60 dias | 0,8703 | 0,8665 | 0,7934 | 0,8109 |
| 90 dias | 0,8676 | 0,8674 | 0,7962 | 0,8152 |
| 120 dias | 0,8581 | 0,8656 | 0,7832 | 0,8111 |
| 180 dias | 0,4491 | 0,4503 | 0,3482 | 0,3698 |
| 1 ano | 0,1417 | 0,1286 | 0,1636 | 0,1692 |
| 2 anos | 0,0301 | 0,0249 | 0,0278 | 0,0278 |

Fonte: Elaboração própria (2023)

Tabela 07 – Correlação de determinação R^2 entre a média dos índices de vegetação e chuva acumulada para o cenário geológico sedimentar

| Chuva acumulada (mm) | São João do Rio do Peixe | | Sousa | |
|----------------------|--------------------------|------------------|------------------|------------------|
| | IVDN | IVAS | IVDN | IVAS |
| | Correlação R^2 | Correlação R^2 | Correlação R^2 | Correlação R^2 |
| 30 dias | 0,9184 | 0,9065 | 0,7374 | 0,7296 |
| 60 dias | 0,7774 | 0,7582 | 0,8956 | 0,8894 |
| 90 dias | 0,4292 | 0,4152 | 0,7413 | 0,7315 |
| 120 dias | 0,2597 | 0,2514 | 0,6807 | 0,6698 |
| 180 dias | 0,0120 | 0,0002 | 0,3149 | 0,3065 |
| 1 ano | 0,2003 | 0,1851 | 0,0935 | 0,0937 |
| 2 anos | 0,1316 | 0,1306 | 0,0593 | 0,0555 |

Fonte: Elaboração própria (2023)

Foram evidenciadas que as maiores correlações encontram-se entre os intervalos de 30 dias (mm); 60 dias (mm); 90 dias (mm) e 120 dias (mm), mostrando uma correlação mais forte entre 90 dias e 120 dias. Para o intervalo de chuva acumulada nos 180 dias (mm), 1 ano (mm) e 2 anos (mm) a correlação foi fraca ou nula. A correlação de determinação R^2 para os municípios de cenário geológico cristalino mostrou variação linear. Os municípios de cenário geológico sedimentar indicaram maior variação comparado ao outro cenário. O município de São João do Rio do Peixe apresentou a maior correlação para os 30 dias (mm) de acumulo de chuva, entretanto, essa correlação foi reduzida para o acumulo de chuva seguinte. Somente esse município apresentou esse comportamento.

Essas variações entre os intervalos podem estar associadas aos aspectos geológicos, resposta espectral da vegetação, ou ao tipo de uso da terra. Entretanto, só é possível confirmar essa dinâmica com uma amostra (universo) bem mais ampla. É recomendável que o processo de escolha das imagens de satélite seja realizado com cautela, visto que há uma abrupta alteração da vegetação em diferentes períodos do ano. A redução de vegetação no período seco pode ser compreendida como degradação, tal qual a intensidade do esverdeamento da vegetação no período chuvoso pode ser interpretada como alto nível de conservação/preservação. Desse modo, os mapas de uso e ocupação da terra fornecem informações que, atreladas aos índices de vegetação e fatores abióticos, contribuem para aplicabilidade de metodologias que levem em consideração às diversidades locais.

6. CONCLUSÕES

Os tipos de uso e ocupação da terra são influenciados pelas variações geológicas, declividade, altitude, condições climáticas e pedológicas. Com a expansão de atividades produtivas, principalmente agricultura de produtividade e pastagem, como ocorre, por exemplo, nos municípios de Sousa – PB e São João do Rio do Peixe – PB, são geradas transformações significativas na vegetação de Caatinga, ocorrendo redução das áreas que possuem vegetação parcialmente conservada.

A hipótese levantada nessa pesquisa trata da correlação entre os impactos gerados pelo uso e ocupação da terra em áreas de formações geológicas distintas e sua influência na dinâmica de sazonalidade da vegetação de Caatinga e nos ciclos de precipitação. Essa hipótese foi confirmada a partir da baixa correlação dos municípios de formação geológica sedimentar, onde os dois municípios, mas, principalmente Sousa – PB possui agricultura de produtividade ligada ao perímetro irrigado da várzea de Sousa. Nos mapas de uso e ocupação da terra, o ano de 2000, por exemplo, não apresenta a categoria lavouras temporárias, no mapa referente ao período de 2021, essa categoria está presente. Foi constatada também uma elevada redução na formação florestal de todos os municípios analisados.

Outro aspecto vinculado à correlação entre índice de vegetação e chuva acumulada, associada ao uso da terra, está na alta correlação de 30 dias (mm) no município de São João do Rio do Peixe, atingindo valor próximo a 1. Essa alta correlação pode estar vinculada a resposta espectral da vegetação, que por ser predominantemente composta por agricultura e pastagem, apresenta rápida resposta a precipitação, de modo gradual, a correlação é reduzida a partir dos 90 dias (mm).

Em relação aos municípios de cenário geológico cristalino, a correlação entre chuva acumulada e índice de vegetação, se mostrou linear e padronizada. Alguns aspectos como declividade e altitude, influenciam diretamente no tipo de uso da terra. Desse modo, essa hipótese não deve ser descartada, entretanto, é importante que a área investigada seja mais abrangente e de maior amplitude, onde sejam inseridas também na análise outras variáveis, como umidade e temperatura.

A elaboração de estudos acerca da dinâmica sazonal da floresta seca brasileira ainda é pouco expressiva quando comparada as florestas úmidas, no entanto, essa realidade vem sendo modificada. Diversos grupos de pesquisa, de diferentes países, como Bolívia, Colômbia, México e Venezuela, dialogam e desenvolvem diversos estudos que visam, sobretudo, a conservação das florestas secas, atrelada a expansão e difusão da produção científica que engloba as florestas tropicais secas. Nessas pesquisas, as metodologias são adaptadas à realidade e condições de cada lugar. Essa multidisciplinaridade é fundamental para a integração de diferentes áreas do conhecimento na ciência ambiental, com o propósito de fortalecer essas pesquisas que abordam as FTSS.

O elemento abiótico historicamente mais suscetível a mudanças e alterações das FTSS é a vegetação. Esse processo na Caatinga é intensificado de diversas formas, através da ausência de políticas públicas, expansão de latifúndios ao longo do processo de ocupação, manejo inadequado exercido por atividades produtivas, como mineração, uso extensivo de agrotóxico, retirada da cobertura vegetal para plantio agrícola e pastagem. A vegetação de Caatinga vem sofrendo ao longo dos anos um processo elevado de degradação.

Essa alteração na cobertura vegetal impacta na redução das chuvas em escala local e regional, além de gerar o desaparecimento de espécies endêmicas de plantas e animais. A FTSS brasileira possui adaptabilidade às adversidades impostas pelas condições climáticas, seja de chuvas extremas ou de secas prolongadas, entretanto, um fator que é agravante e determinante são os mecanismos antropogênicos.

É importante que haja iniciativa dos gestores públicos no planejamento e elaboração de políticas que visem a conservação e o uso sustentável desses ambientes semiáridos, levando em consideração as comunidades locais rurais e os aspectos socioeconômicos.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, E. D. S. **Classificação por unidade de paisagem e estudo da variação da biomassa da vegetação em um complexo de Serras no interior da Paraíba utilizando Sensoriamento Remoto**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p.146. 2018.
- BANDA, K.; DELGADO, A.; DEXTER, K. G.; LINEARES, P. R.; OLIVEIRA FILHO, A. E PENNINGTON, R. T. **Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications**. *Science*, 353(6306). 1383-1387. 2016.
- BECERRA, J. A. B.; CARVALHO, S.; OMETTO, JPHB. **Relação das sazonalidades da precipitação e da vegetação no bioma caatinga: abordagem multitemporal**. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, v. 25, p. 6668-6674, 2015.
- CHAVES, L.B.; FRANCISCO, P.R.M.; LIMA, E.R.V.de; SILVA, B.B.da; BRANDÃO, Z.N. CHAVES, L.H.G. **Índices espectrais, diagnóstico da vegetação e da degradação da Caatinga da Bacia do Rio Taperoá-PB**. 2013.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgar Blüncher, 1999.
- COSTA, G. J. A.; RIBEIRO, K.; ALBUQUERQUE, E. L. S. **Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na avaliação da cobertura vegetal do Município de Regeneração, Estado do Piauí, Brasil**. *Revista Geonordeste*, n. 2, p. 230-246, 2020.
- COSTA, G. M.; CARDOSO, D.; QUEIROZ, L. P. D; CONCEIÇÃO, A. A. **Variações locais na riqueza florística em duas ecorregiões de caatinga**. *Rodriguésia*, v. 66, n. 3, p. 685-709, 2015.
- ESPÍRITO-SANTO, M. R.; FAGUNDES, M.; NUNES, Y. R. F.; FERNANDES, G. W.; AZOFEIFA, G. A. S.; QUESADA, M. **Bases para a conservação e uso sustentável das florestas estacionais decíduas brasileiras: a necessidade de estudos multidisciplinares**. *Unimontes Científica*, v. 8, n. 1, p. pág. 13-22, 2008.
- FERNANDES, M. F.; QUEIROZ, L. P. **Vegetação e flora da Caatinga**. *Ciência e cultura*, v. 70, n. 4, p. 51-56, 2018.
- GUEDES, J.S. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: princípios, sensores e métodos**. *Acta Geográfica*, v. 12, n. 29, p. 127-144, 2018.
- LUZ, L. R.; GIONGO, V.; SANTOS, A. M. D.; LOPES, R. J. D. C.; JÚNIOR, C. D. L. **Relação entre biomassa e índices de vegetação por sensoriamento remoto em diferentes áreas de florestas de caatinga**. *Ciência Rural*, v. 52, 2021.
- MALDONADO, F. D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semi-árido**. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto), 311 f. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE – São José dos Campos, São Paulo (INPE-12679-TDI/1007). 2004.

MATTOS, S. H. V. L.; PEREZ FILHO, A. **Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 5, 2004.

MORAES NOVO, E. L. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. Editora Blucher, 2010.

OLIVEIRA, M. B. L. et al. **Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de caatinga e atmosfera no Nordeste brasileiro**. Embrapa Semiárido, 2006.

PRADO, D. E. **As caatingas da América do Sul**. Ecologia e conservação da Caatinga, v. 2, p. 3-74, 2003.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, v.1, 127p., 2007.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. Oficina de textos, 2015.

RIBEIRO, G. A.; DE CASTRO SILVA, J. N.; DA SILVA, J. B. **Índice de vegetação ajustado ao solo (IVAS): estado da arte e suas potencialidades (Adjusted Vegetation Index to Solo (SAVI): state of the art and its potential)**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 9, n. 6, p. 2054-2074, 2016.

SANTOS, C. V.; CARVALHO, H. F.; SILVA, M. J.; MOURA, M. S.; GALVÍNCIO, J. D. **Uso de sensoriamento remoto na análise da temperatura da superfície em áreas de floresta tropical sazonalmente seca**. Embrapa Semiárido-Artigo, 2020.

SERAFIM-FILHO, G. L.; SANTOS, L. L.; SOUZA, S. M. A.; RODAL, M. J. N.; MELO, J. I. M.; SALES, M. F. **Florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em duas áreas sedimentares do Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco, Brasil**. Journal of Environmental Analysis and Progress, v. 6, n. 2, p. 136-152, 2021.

SENA, J. P. O. **Análise da Precipitação Pluviométrica em Anos Extremos no Cariri Paraibano e suas Consequências na Agricultura e Cobertura Vegetal**. Dissertação de Mestrado, Campina Grande, 97p. 2017.

SILVA, B.B. Aplicações ambientais brasileiras de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Campina Grande: EDUFCEG, p. 1-31. 2013.

STAN, K.; SANCHEZ-AZOFEIFA, A. **Tropical Dry Forest Diversity, Climatic Response, and Resilience in a Changing Climate**. Forests, v. 10, n. 5, p. 443, 2019.

VERDUZCO, V. S.; GARATUZA-PAYÁN, J.; YÉPEZ, E. A.; WATTS, C. J.; RODRÍGUEZ, J. C.; ROBLES-MOURA, A.; VIVONI, E. R. **Variations of net ecosystem production due to seasonal precipitation differences in a tropical dry forest of northwest Mexico**. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, v. 120, n. 10, p. 2081-2094, 2015.