



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA

COORDENAÇÃO DO CURSO DE AGRONOMIA

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL POR ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO
PARQUE ESTADUAL MATA DA PIMENTEIRA NO PERÍODO
CHUVOSO E SECO**

Alessandro Higor Gomes da Rocha

Serra Talhada, PE

2022

Alessandro Higor Gomes da Rocha

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL POR ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO
PARQUE ESTADUAL MATA DA PIMENTEIRA NO PERÍODO
CHUVOSO E SECO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
Rural de Pernambuco/Unidade
Acadêmica de Serra Talhada, como parte
das exigências do Curso de Bacharelado
em Agronomia para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Serra Talhada, PE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- R672d Rocha, Alessandro Higor Gomes da
 Diagnóstico ambiental por índices de vegetação no parque estadual mata da pimenteira no
 período chuvoso e seco / Alessandro Higor Gomes da Rocha. - 2022.
 33 f. : il.
- Orientador: Alan Cézar .
 Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,
 Bacharelado em Agronomia, Serra Talhada, 2022.
1. Caatinga. 2. Ndvi. 3. Sensoriamento remoto. 4. Vci. I. , Alan Cezar, orient. II. Título

CDD 630

Alessandro Higor Gomes da Rocha

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL POR ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO
PARQUE ESTADUAL MATA DA PIMENTEIRA NO PERÍODO
CHUVOSO E SECO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
Rural de Pernambuco/Unidade
Acadêmica de Serra Talhada, como parte
das exigências do Curso de Bacharelado
em Agronomia para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em 23/05/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alan César Bezerra - UFRPE/UAST (Orientador)

Prof. Dr. Antônio Henrique Cardoso do Nascimento (UFRPE/UAST)

Profa. Dra. Elisiane Alba (UFRPE/UAST)

Serra Talhada, PE

2022

Dedico à minha mãe “Iva”, ao meu pai
“Chico”, aos meus irmãos “Sandrinha” e
“Alex”, e a minha prima Gabriela Rocha.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Maria Amélia Gomes da Rocha “Iva”, que acreditou em mim e fez tudo que pôde para me manter estudando na UAST durante todos esses anos.

Ao meu pai Francisco Gomes da Rocha “Chico”, aos meus irmãos Sandrinha e Alex pelo apoio e por todas contribuições durante esses anos.

À cada pessoa de minha família que se manteve presente, ajudando direta ou indiretamente.

Ao meu orientador Prof. Alan César Bezerra, pela ajuda, pela disponibilidade, pelo conhecimento fornecido e pela oportunidade de participar dos trabalhos e projetos de pesquisa.

Aos meus colegas da universidade, pela parceria, contribuição e paciência durante a graduação, em especial à Ângela Lucena, Bianca Porfírio, Cícero Davi, Luís Carlos, Jéssica Patrícia, Jefferson Gabriel, Júlio César, Mayara Bernardo, Natália Alves, Pedro pereira, Rafael Pereira e Wellison José. Agradeço também à Maria Louize “Malú”, por se fazer presente e sempre me incentivar.

Agradeço aos professores do curso e a UAST pela oportunidade e pelo fornecimento do conhecimento ao longo desses anos.

Por fim, e não menos importante, agradeço a Deus por fornecer coragem, sabedoria e paciência durante todos esses anos.

Esse trabalho só foi realizado devido a ajuda de todos citados, que sem eles não seria possível... Obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	9
RESUMO	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivo específico	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Unidades de conservação (UCs)	14
3.1.1 Parque Estadual Mata da Pimenteira (PEMP)	14
3.2 Comportamento da vegetação em relação aos fatores ambientais	15
3.2.1 Pluviosidade	15
3.2.2 Estresse hídrico	16
3.3 Sensoriamento remoto	17
3.4 Monitoramento de vegetação com índices de vegetação	18
3.4.1 NDVI	18
3.4.2 VCI	19
4. MATERIAL E MÉTODOS	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo, Mata da Pimenteira, Serra Talhada, Pernambuco, Brasil	20
Figura 2. Precipitação mensal acumulada de 2016 a 2021 para Serra Talhada, com a média da precipitação para cada mês correspondente ao período de 1991 à 2021.	23
Figura 3. Valores médios do período chuvoso e seco de 2016 a 2021. (A) NDVI; (B) VCI.	24
Figura 4. Imagens do NDVI CHUVOSO classificado para a Mata da Pimenteira nos anos de 2016 a 2021	25
Figura 5. Imagens do NDVI SECO classificado para a Mata da Pimenteira nos anos de 2016 a 2021	25
Figura 6. Imagens do VCI CHUVOSO classificado para a Mata da Pimenteira nos anos de 2016 a 2021	26
Figura 7. Imagens do VCI SECO classificado para a Mata da Pimenteira nos anos de 2016 a 2021	27
Figura 8. Área das classes dos índices de vegetação em hectares de 2016 a 2021. (A) NDVI CHUVOSO; (B) NDVI SECO; (C) VCI CHUVOSO; (D) VCI SECO.	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação

UCs - Unidades de conservação

NDVI – Índice de vegetação por diferença normalizada

VCI – Índice das condições da vegetação

SAVI – Índice de vegetação ajustada ao solo

EVI – Índice de vegetação melhorado

PEMP – Parque Estadual Mata da Pimenteira

IPA – Instituto de pesquisas agronômicas

CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente

SEMAS - Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Sustentabilidade

GEE – Google Earth Engine

BIV - Banda do infravermelho próximo

BV - Banda do vermelho

RESUMO

Devido às necessidades de monitoramento, bem como da compreensão das condições da vegetação do Parque Estadual Mata da Pimenteira, objetivou-se analisar índices de vegetação gerados com bandas do vermelho e infravermelho, com imagens do Sentinel-2 para verificar a cobertura do solo no período chuvoso e seco de 2016 a 2021. O local de estudo situa-se no município de Serra Talhada, Pernambuco. As imagens foram processadas no Google Earth Engine para obter uma composição dos dois períodos estudados, na sequência, no software QGIS versão 3.18.3 (Zurich), foi determinado os índices de vegetação (NDVI e VCI) pela calculadora raster, uma ferramenta de cálculo disponível no Qgis que usa como base os valores dos pixels das camadas. Após a obtenção dos índices, foram alcançadas as estatísticas descritivas das imagens e classificadas a partir da ferramenta *r.recode*, com posterior contagem das classes de vegetação pelo *r.report*, para que a partir disso, foi ser feito o mapa temático para as análises e diagnóstico da área de estudo. Os resultados indicam maior média do NDVI para 2016 e 2017 com 0,7 no período chuvoso, e 0,36 no seco. O VCI teve sua maior média em 2016 com 86,04 e menor em 2018 com 63,63. No período chuvoso mais de 90% da área foi composta pela alta densidade de vegetação com o NDVI e com o VCI da classe muito leve. No período seco, a maior parte da área foi da classe “baixa densidade de vegetação” pelo NDVI e “severo” pelo VCI.

Palavras-chave: Caatinga, NDVI, Sensoriamento Remoto, VCI

ABSTRACT

Due to the monitoring needs, as well as the understanding of the vegetation conditions of the Mata da Pimenteira State Park, it was aimed to analyze vegetation indices generated with red and infrared bands, with Sentinel-2 images to verify the land cover in the rainy and dry period from 2016 to 2021. The study site is located in the municipality of Serra Talhada, Pernambuco. The images were processed in Google Earth Engine to obtain a composition of the two periods studied, then, in QGIS software version 3.18.3 (Zurich), the vegetation indices (NDVI and VCI) were determined by raster calculator, a calculation tool available in Qgis that uses as a basis the values of the pixels of the layers. After obtaining the indices, the descriptive statistics of the images were obtained and classified using the r.recode tool, with subsequent counting of the vegetation classes by r.report, so that from this, the thematic map for the analysis and diagnosis of the study area was made. The results indicate higher average NDVI for 2016 and 2017 with 0.7 in the rainy period, and 0.36 in the dry one. The VCI had its highest average in 2016 with 86.04 and lowest in 2018 with 63.63. In the rainy period more than 90% of the area was composed of the high vegetation density with the NDVI and VCI of the very light class. In the dry period, most of the area was of the class "low vegetation density" by NDVI and "severe" by VCI.

Keywords: Caatinga, NDVI, Remote Sensing, VCI

1. INTRODUÇÃO

As áreas de conservação fazem parte do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) criado pela Lei Federal nº 9985/2000 e são áreas que desempenham um importante papel na sociedade de manutenção da biodiversidade local e são fundamentais para que não se perca totalmente os recursos naturais. A depender do uso e das características locais, as unidades podem ser enquadradas com categorias diferentes, podendo ser do tipo de proteção integral ou de uso sustentável. Com o aumento da população surgem maiores demandas pelos recursos, e com isso surge a necessidade da proteção desses locais para que não se perca todos os benefícios advindos dos mesmos. Se torna cada vez mais importante a reserva de espaços destinados à conservação ambiental. Portanto, o monitoramento desses locais é muito importante como auxílio na gestão e na conservação desses (BRASIL, 2000; FONSECA *et al.*, 2010).

A cada dia surgem novas tecnologias que auxiliam a obtenção e facilitam o processamento de dados espaciais, como o sensoriamento remoto. Através dele é possível compreender as variabilidades espaciais e temporais de diferentes fenômenos. Dentro desse contexto, a análise de uso e cobertura do solo pode indicar a dinâmica das atividades desenvolvidas em um dado espaço. Dessa forma, o sensoriamento remoto pode prover essas informações de maneira rápida e precisa.

O sensoriamento remoto permite obter imagens da cobertura terrestre, sendo capaz de abranger grandes áreas com um maior monitoramento devido ao período de revisita do satélite, e a depender das respostas espectrais, compreender as dinâmicas de uso e ocupação da terra. Para tanto, podem ser gerados alguns índices que permitem um entendimento melhor das mudanças da cobertura, dentre os quais se destacam o índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI) e o índice das condições de vegetação (VCI) (BEZERRA *et al.*, 2020; MOREIRA *et al.*, 2015). São ferramentas que analisam a situação da vegetação, mas existem casos em que o NDVI não consegue ser tão preciso como na Caatinga no seu período seco, logo é utilizado o VCI para observar melhor essas áreas.

Na região semiárida pernambucana, o Governo do Estado de Pernambuco criou em 2012 o primeiro parque estadual com o bioma caatinga do estado, o Parque Estadual da Mata da Pimenteira (PEMP) localizado no município de Serra Talhada. Esse Parque pode ser utilizado como objeto de estudo do bioma Caatinga, devido à

grande biodiversidade local e com as características intactas da vegetação desde que foi criado. Nesse sentido, já foram realizados estudos no local, como o feito por Bilar *et al.* (2018), que analisaram as condições da cobertura vegetal em três anos diferentes (2007, 2013 e 2016) com NDVI e outros índices de vegetação. Enquanto em outro trabalho, feito por Sousa e Santos (2020) utilizando classificação não supervisionada com base em um mosaico RGB, foram observadas as mudanças no uso e na cobertura do solo ao longo de dez anos, antes e depois da criação do parque.

Estes estudos utilizaram como produto as imagens geradas pelo Landsat, produto este, com resolução espacial de 30 metros e resolução temporal de 16 dias. Além disso, a avaliação consistiu em cenas obtidas em datas específicas e próximas, o que torna a análise mais suscetível à vieses, uma vez que a Caatinga apresenta uma tendência de recuperação rápida, diante de eventos de precipitação. Além disso, não realizaram uma identificação da diferença de comportamento na estação chuvosa e seca. Dessa forma, o estudo proposto apresenta como diferencial o uso do produto sentinel 2, que possui maior resolução espacial (10 m) e temporal (5 dias). Além disso, foi utilizado o processamento digital em nuvem, através da Plataforma do Google Earth Engine (GORELICK *et al.*, 2017), para gerar uma imagem reduzida no período chuvoso e seco.

Assim sendo, partindo da premissa que o processamento digital em nuvem permite caracterizar as diferenças da resposta espectral da cobertura vegetal no bioma Caatinga em uma região de semiárido, é que foi executado neste trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar índices de vegetação gerados com bandas do vermelho e infravermelho com imagens do Sentinel-2 para verificar a cobertura da terra no período chuvoso e seco de 2016 a 2021 do Parque Estadual Mata da Pimenteira localizado em Serra Talhada -PE.

2.2 Objetivo específico

- Gerar índices de NDVI e VCI para o período seco e chuvoso de 2016 a 2021
- Elaborar mapas com a distribuição das classes para os dois índices
- Analisar as mudanças na cobertura do solo ao longo do período estudado

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Unidades de conservação (UCs)

Com a preocupação de se manter disponíveis os recursos naturais devido ao crescente aumento da população humana, foram criadas ao longo do tempo áreas que serviriam como manutenção da biodiversidade. Essas áreas passaram por diversas finalidades, mas que de maneira geral, com o objetivo de conservar reservas de água, de solo ou suavizar mudanças climáticas em andamento (FONSECA *et al.*, 2010; PUREZA, 2016).

De acordo com a Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000 a unidade de conservação é definida como

espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção.

Essa lei institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), que considera as unidades de conservação divididas em duas categorias, a de tempo integral que permite apenas o uso indireto de seus recursos e a de uso sustentável, que se utiliza apenas uma parcela (BRASIL, 2000).

As UCs de tempo integral são constituídas por cinco tipos: Estação Ecológica; Reserva Biológica; Parque Nacional; Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre. Já as de uso sustentável são divididas em sete tipos: Área de Proteção Ambiental; Área de Relevante Interesse Ecológico; Floresta Nacional; Reserva Extrativista; Reserva de Fauna; Reserva de Desenvolvimento Sustentável; e Reserva Particular do Patrimônio Natural (BRASIL, 2000).

As áreas são criadas pelo poder público e necessitam de um plano de manejo que abranja toda a unidade, como também a zona de amortecimento e os corredores ecológicos (BRASIL, 2000).

3.1.1 Parque Estadual Mata da Pimenteira (PEMP)

O parque fica localizado na microrregião do Vale do Pajeú, na Fazenda Saco, zona rural de Serra Talhada – PE, nas porções sul, oeste e noroeste da propriedade do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA. É situado em uma região do semiárido

com o bioma caatinga, tendo sido criado pelo Decreto Estadual 37.823, de 30 de janeiro de 2012 (CPRH, 2013; SANTOS *et al.*, 2013).

A sua criação se deu a partir da indicação de pesquisadores da Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada, pela observação da riqueza da biodiversidade da área de caatinga que estava presente próximo a universidade. Após reuniões com os comitês e associações responsáveis, com o apoio do governo do estado, de professores da UAST e da prefeitura da cidade, foi iniciado o processo de criação da UC. Processo esse que com a visita de técnicos da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) e da Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS), foi levado adiante pela identificação do potencial do local e sendo assim, dando início ao primeiro parque estadual com o bioma caatinga do estado (SANTOS *et al.*, 2013).

O PEMP se enquadra como unidade de tempo integral, que por ser estadual faz parte da categoria de parque nacional, e nesse tipo como é dito por Brasil (2000) é permitido “apenas à realização de atividades educacionais e de perspectiva ambiental, turismo ecológico e recreação, onde utiliza-se o contato com a natureza”.

3.2 Comportamento da vegetação em relação aos fatores ambientais

A vegetação tem capacidade de influenciar e contribuir com o clima local, como também pode ser afetada por alguns fatores ambientais. A troca de energia e a interação entre os fatores bióticos e abióticos como clima, solo, geomorfologia ou fauna tem papel importante na constituição do sistema climático (BECERRA, 2009).

A vegetação se comporta de maneira diferente de acordo com as condições atmosféricas locais, sendo um dos principais componentes no processo de desenvolvimento e estabelecimento das plantas a água. A água é essencial no crescimento das plantas e é o principal fator na distribuição da vegetação na superfície terrestre (PIMENTEL, 2004). Dentre os fatores que estão diretamente relacionados com a água e com o comportamento da vegetação, podem ser citados a pluviosidade e o estresse hídrico.

3.2.1 Pluviosidade

A precipitação no semiárido nordestino apresenta em média valores menores que 600 mm por ano, sendo sua maior concentração na maior parte da região dos

meses de fevereiro a maio. São chuvas que são de alta intensidade, porém de irregularidade espacial e temporal, trazendo preocupações quanto às possibilidades de períodos mais secos (MARENGO, 2011).

A chuva está correlacionada com a cobertura vegetal, ela condiciona a umidade do solo e pode influenciar na biomassa da vegetação com mudanças nos padrões fotossintéticos. (CUNHA, 2012; SENA, 2017). As alterações no regime pluviométrico provocam mudanças na disponibilidade de água no solo, reduzindo à capacidade do estabelecimento adequado da vegetação.

No caso da caatinga, a maioria das espécies são caducifólias e perdem suas folhas na época seca como mecanismo de adaptação a esse período de baixos índices pluviométricos (FILHO, 1998). Com o início das chuvas a vegetação retorna com suas folhas e consequente aumento da cobertura vegetal, elevando o potencial fotossintético.

3.2.2 Estresse hídrico

O estresse hídrico é um fator que atua sobre as plantas de maneira desvantajosa, seja pela falta ou excesso, é quando há ausência de água no solo ou a presença que por alguma limitação metabólica a planta não consegue absorver-la. (BARROS, 2018; SILVA, 2011).

A vegetação estressada passa por condições que alteram alguns aspectos em sua estrutura, como na queda de folhas, que reduz a área foliar e consequentemente a fotossíntese. Como os processos metabólicos alterados, a planta tende a buscar meios de economizar mais água, com o fechamento dos estômatos a perda é menor, porém a assimilação de carbono, atividade fotossintética e produtividade são reduzidas. (BARROS, 2018; SILVA, 2011).

A intensidade das mudanças na anatomia da planta depende da espécie e da duração do déficit hídrico, reduzindo a capacidade de disputa por luz com a queda das folhas, principalmente em área de Caatinga, que já passa pelo problema da escassez de água em boa parte do ano. (ARAUJO, 2010). A deficiência hídrica provoca alterações na planta que a depender do desenvolvimento atual e da duração pode ser irreversível (SANTOS, 1998).

Essas situações de estresse nas plantas podem ser observadas através da utilização de índices de vegetação com o uso de sensoriamento remoto, método que vem sendo cada vez mais utilizado devido a praticidade e rapidez na obtenção das informações da cobertura vegetal.

3.3 Sensoriamento remoto

A partir do início de lançamentos de satélites pelos foguetes para o espaço na década de 1960 foi se iniciando a história do sensoriamento remoto. Com os programas espaciais e seus diversos fins demonstrando ótimos resultados, novos equipamentos foram construídos com melhores ferramentas na captação da imagem da superfície terrestre. O primeiro satélite destinado ao sensoriamento remoto foi lançado pelo Estados Unidos em 1972, inicialmente chamado ERTS-1, mas depois viria a se chamar Landsat-1 (MENESES; ALMEIDA, 2012).

O sensoriamento remoto tem o objetivo de adquirir informações de objetos da superfície terrestre pela energia eletromagnética emitida e refletida pelos mesmos, que são registradas nos sensores e ficam disponíveis para a identificação e extração de informações. Com o processamento das imagens obtidas pelos satélites, são geradas novas imagens que necessitam de capacidade de interpretação das informações que estão contidas nelas, seja pelos objetos ou padrões apresentados (CROSTA, 1999; MORAES, 2002)

O processamento se faz necessário devido a alguns impedimentos e distorções das imagens que dificultaram ou impossibilitaram a interpretação das cenas obtidas, que por sua vez, funciona como uma quebra de barreiras e importante mecanismo no início do processo (CROSTA, 1999). Desses impedimentos, pode ser citado a questão das nuvens, que estão presentes em grande parte das imagens dos satélites e dificultam a leitura e tratamento das imagens, influenciando na interpretação e nos resultados finais da leitura das informações.

Quando utilizado para analisar as mudanças na cobertura do solo de grandes áreas, o sensoriamento remoto é muito útil, avaliando a biomassa vegetal e os padrões da paisagem (BEZERRA *et al.*, 2020). Para essas análises podem ser utilizados diversos satélites, porém um que dispõe de ótima resolução espacial (10m) é o Sentinel-2, e com resolução temporal de 5 dias. Esse satélite possui 13 bandas espectrais e está disponível desde 2015, permitindo o monitoramento contínuo da vegetação, de solos, áreas costeiras, etc. (EMBRAPA, 2020).

3.4 Monitoramento de vegetação com índices de vegetação

A partir do monitoramento da vegetação realizado constantemente e de forma adequada, a biodiversidade local é preservada, protegendo espécies ameaçadas, as características geológicas ou culturais, paisagens, os recursos hídricos e edáficos, como também pode proporcionar condições adequadas para o contato das pessoas com a natureza através do turismo ecológico (BRASIL, 2000).

O monitoramento pode ser feito no campo atrás de informações que ajudem no manejo e na tomada de decisão de melhores medidas para a conservação do local. Para que possa ser feito é necessário planejamento e um roteiro com indicadores para a avaliação e comparação com parâmetros esperados (NOBRE, 2014). Além do monitoramento no campo, hoje é bastante feito através de índices de vegetação, utilizando sensoriamento remoto que é feito de forma mais rápida, simples e barata.

De acordo com Souza *et al.* (2009):

Os índices de vegetação são um dos dados mais utilizados no monitoramento sazonal e interanual de parâmetros fisiológicos e estruturais dos diferentes ecossistemas via sensoriamento remoto. Eles consistem em transformações, lineares ou não, de bandas espectrais designadas para realçar a contribuição de propriedades de interesse da vegetação.

A vegetação sadia possui comportamento diferente nas regiões do espectro eletromagnético em comparação à uma vegetação seca ou estressada. Na faixa visível a energia é absorvida e usada na fotossíntese, onde essa absorção atinge picos do vermelho e azul. A energia do infravermelho próximo não atua na fotossíntese, ela é dispersada internamente na folha (ROSENDO, 2005).

Os índices mais comumente utilizados são o índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI), índice de vegetação ajustada ao solo (SAVI), índice de condição da vegetação (VCI) ou índice de vegetação melhorado (EVI).

3.4.1 NDVI

O índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI) é um dos índices mais usados atualmente, que foi desenvolvido e proposto por Rouse (1973), e como dito por Albuquerque *et al.* (2019) é usado “principalmente em estudos de cunho ambiental, que nos permite fazer análises, em diversas escalas, sobre a cobertura vegetal de determinada região”.

Alguns trabalhos utilizaram esse índice na avaliação da cobertura da terra ao longo dos anos, como no realizado por Bilar *et al.* (2018) que avaliou a cobertura vegetal do Parque Estadual Mata da Pimenteira, com o NDVI e outros índices em conjunto. Outro trabalho com o NDVI é o de Silva *et al.* (2019), aplicado para o monitoramento na cobertura vegetal do município de Arcoverde – PE.

O NDVI utiliza a banda do vermelho e infravermelho, que no caso do sentinel-2 são as bandas 4 e 8 respectivamente, obtendo um percentual e fazendo a distinção das áreas pela taxa de absorção do vermelho e reflexão do infravermelho (AMARAL *et al.*, 2020).

3.4.2 VCI

O Índice de Condição da Vegetação (VCI) foi desenvolvido por Kogan (1995) e utiliza valores do NDVI e suas informações temporais.

Alguns trabalhos fizeram o seu uso, como Moreira *et al.* (2015) que aplicou para mapeamento da seca de municípios localizados na mesorregião norte de Minas Gerais. Outro autor a trabalhar com esse índice, foi Lopes *et al.* (2015) que utilizou o VCI no monitoramento de pastagens no cerrado.

O VCI é um índice que pode complementar o NDVI e representar melhor algumas características importantes da vegetação, devido a que o NDVI não detecta com facilidade as mudanças causadas na vegetação pelo clima. Sendo assim, em locais com vegetação com estresse, ou como no caso da Caatinga, o VCI é um ótimo índice para expressar a real situação em que a vegetação se encontra (DU *et al.*, 2013).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido no Parque Estadual Mapa da Pimenteira (Figura 1), localizado nas coordenadas geográficas 7°56'10" S e 38°17'55" W, composto por topos de serras e com limites definidos com espaços contornados por locais com alta declividade. Tem área de 887,24 hectares com relevo suave-ondulado e vegetação típica sendo a caatinga hiperxerófila. Possui temperatura média anual em torno de 37 °C e precipitação na faixa de 400 a 800 mm anuais (CPRH, 2013; PERNAMBUCO, 2013). As coordenadas para criação dos limites do PEMP foram obtidas no decreto

de criação, Decreto Estadual 37.823, de 30 de janeiro de 2012, no sistema de referência do SAD69. Após a criação do arquivo em formato SAD69, houve uma reprojeção para o sistema de coordenadas geográficas WGS 84.

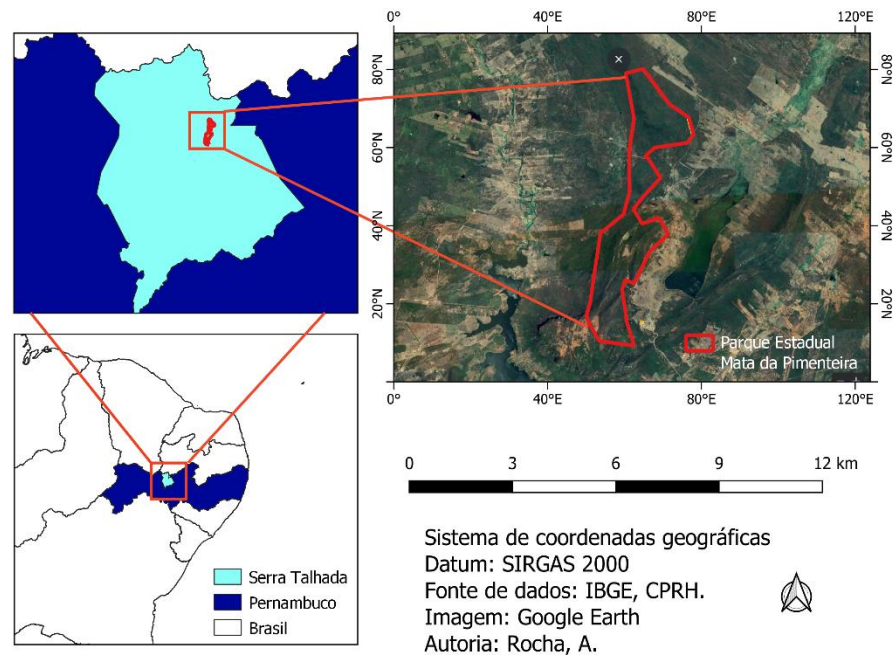


Figura 1. Localização da área de estudo, Mata da Pimenteira, Serra Talhada, Pernambuco, Brasil

4.2 Base de Dados

A partir do site da Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC) foram obtidos os dados de precipitação no acumulado mensal e determinada a média mensal para o período, utilizando o posto pluviométrico localizado no município de Serra Talhada (IPA), sendo obtida uma série temporal referente ao período de 1991 a 2021, totalizando 30 anos transcorridos. O uso de uma série temporal desta extensão foi feito para conferir-lhe robustez como referencial para avaliar o comportamento dos parâmetros estudados. As imagens de satélite foram obtidas do Sentinel-2, com as camadas geradas no Google Earth Engine.

Foram obtidas 12 cenas reduzidas para os anos em que havia disponibilização das imagens pelo Sentinel-2, ou seja, de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021 em dois períodos de cada ano: chuvoso e seco. Condizente à época de chuva da região, o período chuvoso foi considerado os meses de janeiro a abril e período seco de agosto a novembro (DA COSTA *et al.*, 2021). Devido ao problema com nuvens e com

o intuito de obter melhores imagens, aplicou-se uma máscara de nuvens, de cobertura máxima de 10%. Ademais, como critério de redução da imagem, foi utilizada a média do pixel em cada período para obter uma nova composição de imagem da área de estudo.

4.3 Processamento Digital das Imagens

Após a realização dos procedimentos no Google Earth Engine, para realizar o processamento dos dados, foi utilizado o software livre Qgis versão 3.18.3 (Zurich), selecionando as bandas 8 (infravermelho próximo) e 4 (vermelho) para o cálculo do NDVI. Para obtenção das camadas foi utilizada a calculadora raster com a aplicação da metodologia utilizada por Rouse (1973):

$$NDVI = \frac{BIV - BV}{BIV + BV}$$

Em que,

NDVI: Índice de vegetação com diferença normalizada;

BIV: Banda do infravermelho próximo;

BV: Banda do vermelho;

A partir da imagem de NDVI, realizou-se uma nova classificação da imagem em 5 classes, com o uso da ferramenta *r.recode* do QGIS, com base nos seguintes critérios: corpo d'água (-1 a 0); solo exposto ou edificações (0 a 0,1); baixa densidade de vegetação (0,1 a 0,3); média densidade de vegetação (0,3 a 0,5); alta densidade de vegetação (0,5 a 1) (AHMAD *et al.*, 2014; ARAÚJO *et al.*, 2019; HASHIM *et al.*, 2019; NERY *et al.*, 2013)

Além disso, com as imagens de NDVI, foram extraídos valores da estatística de cada uma para confecção do VCI, onde foi adotada a fórmula proposta por Kogan (1995):

$$VCI = \left(\frac{NDVI_{max} - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right) * 100$$

Onde,

NDVIm: valores médios de NDVI para cada camada usada;

NDVImín e NDVImax: valores da estatística fornecidos pela própria camada do NDVI;

Da mesma forma que o NDVI, o VCI foi dividido em cinco faixas de classes, dessa vez se referindo ao nível de estresse hídrico, e valores variando de 0 a 100 por ser expresso em porcentagem: extremo (0 - 20%); severo (20 - 40%); moderado (40 - 60%); leve (60 - 80%); muito leve (80 - 100%) (VALLEJO-VILLALTA; NAVAS; PÉREZ, 2019).

Com as 12 imagens de NDVI e 12 do VCI, totalizando 24 imagens, realizou-se uma análise da estatística descritiva. Por sua vez, as 24 imagens classificadas, 12 de NDVI e 12 do VCI, permitiram realizar a contagem das áreas com a ferramenta do *r.report* e elaborar os mapas temáticos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da análise do gráfico da precipitação mensal acumulada (Figura 2) foi possível observar a maior concentração das chuvas no verão, com uma parte no início do outono. Em alguns casos a média apresentada no período de estudo - 2016 a 2021- foi maior do que a média anual histórica (1991 a 2021), com destaque para março de 2020. Já no final do inverno e na primavera, período considerado seco, a chuva em muitos anos foi muito pequena ou nenhuma, com exceção à de 2021, que apresentou um acumulado de 46,8 mm.

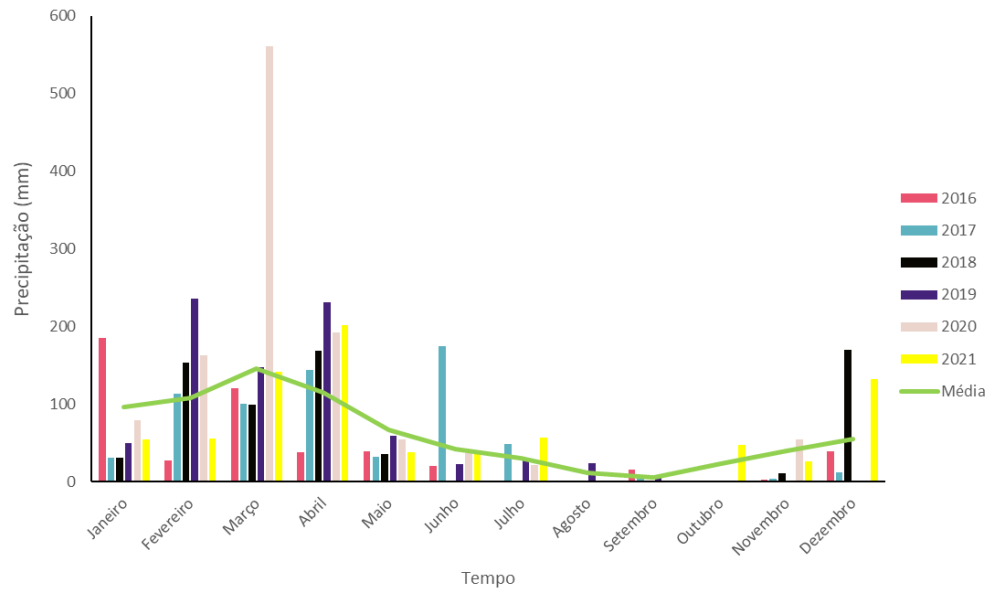


Figura 2. Precipitação mensal acumulada de 2016 a 2021 para Serra Talhada, com a média da precipitação para cada mês correspondente ao período de 1991 à 2021.

No período chuvoso, os maiores valores médios de NDVI apresentaram 0,7 para 2016 e 2017, valores que se aproximam dos encontrados por Bezerra *et al.* (2014), na faixa de 0,7 a 0,8. Ainda considerando o período chuvoso, a menor média encontrada foi em 2018 com 0,5 (Figura 3). Para o período seco, houve semelhança entre os valores de 2016 a 2019, com um acréscimo em 2020 chegando ao máximo encontrado para esse índice nesse período com 0,36, próximo do obtido por Lourenço *et al.* (2017), que encontrou o valor médio no período seco de 0,407 e ao de Bilar *et al.* (2018) com valores inferiores aos 0,4.

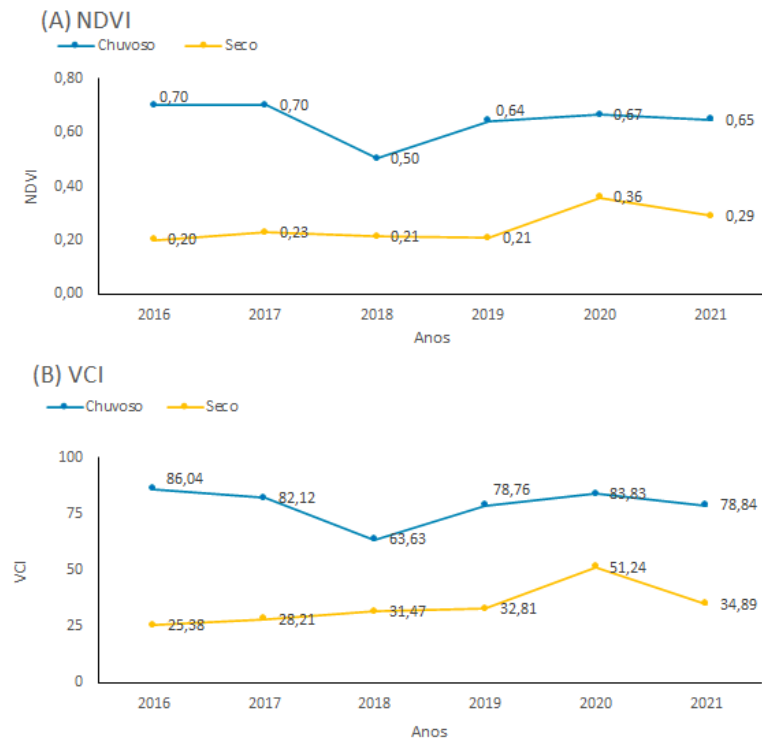


Figura 3. Valores médios do período chuvoso e seco de 2016 a 2021. (A) NDVI; (B) VCI.

Enquanto o VCI teve comportamento semelhante ao NDVI, com destaque para 2016 apresentando a maior média com 86,04 e menor em 2018 com 63,63 no período chuvoso. No período seco, a maior média foi encontrada em 2020 com 51,24 e a menor em 2016 com 25,38.

A maior média dos dois índices no período seco provavelmente é devido aos eventos de precipitação, principalmente nos meses de março e abril de 2020, no qual a chuva apresentou um volume, aproximadamente, 4,5 vezes acima da média histórica (Figura 2). Devido a maior precipitação, não somente nos meses citados, como também a maior média mensal de 2020 em relação à média histórica, o solo permaneceu com umidade por mais tempo, com consequente maior vigor da vegetação nesse período.

Através dos mapas do índice de vegetação por diferença normalizada para o período chuvoso (Figura 4), foi observado a maior concentração de alta densidade de vegetação em todos os anos analisados, com uma pequena redução em 2018, com alguns pontos do Parque indicando a média densidade de vegetação.

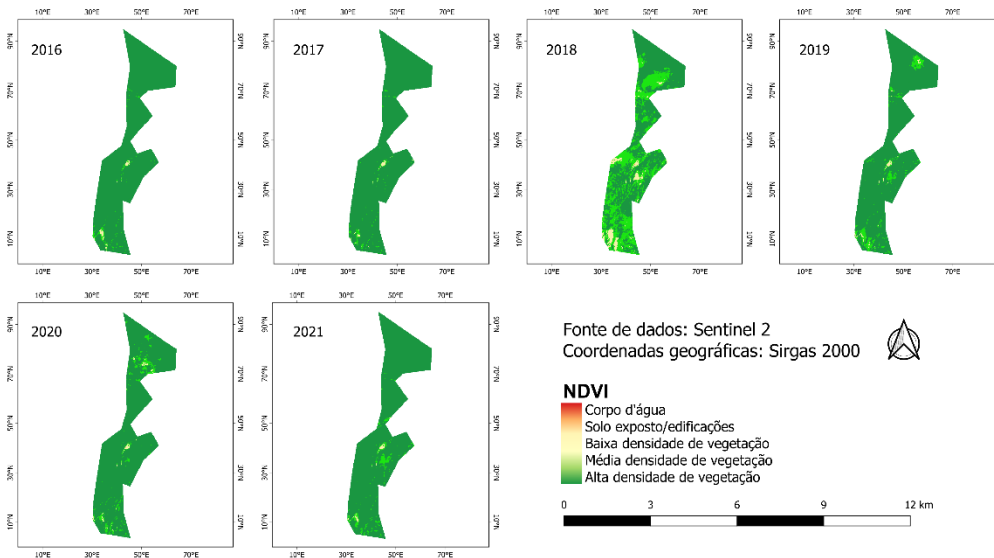


Figura 4. Imagens do NDVI CHUVOSO classificado para a Mata da Pimenteira nos anos de 2016 a 2021

Observando o período seco (Figura 5), o NDVI teve em sua maioria a condição de baixa densidade de vegetação, com exceção para 2020 que cerca de 82% da área foi caracterizada como média densidade de vegetação, situação que em 2021 teve uma baixa, caindo para 35% da área total. Essa característica da baixa densidade de vegetação no período seco se dá devido a que nessa época do ano a vegetação da Caatinga fica mais esparsa, em razão da perda de folhas de parte da vegetação, reduzindo a resposta dos índices de vegetação (MOURA *et al.*, 2016).

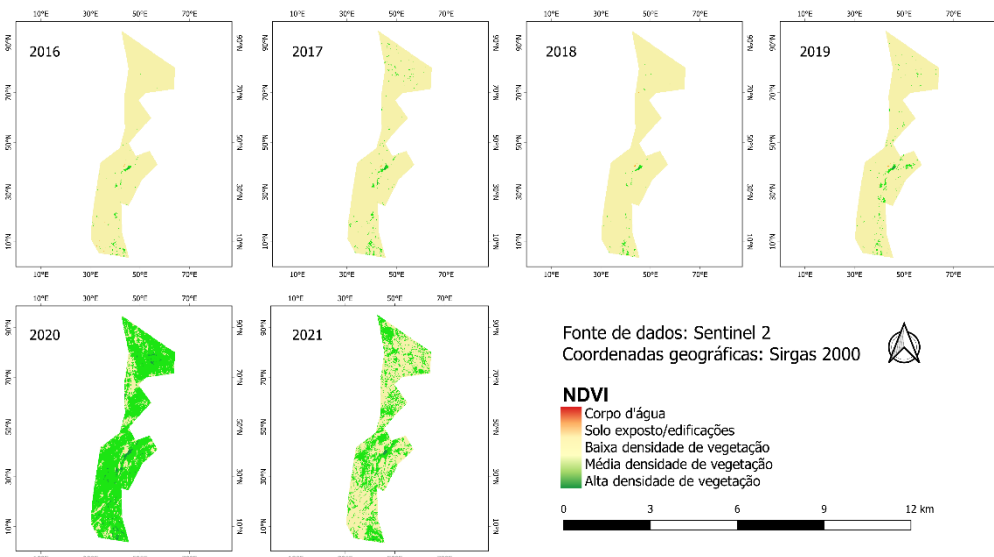


Figura 5. Imagens do NDVI SECO classificado para a Mata da Pimenteira nos anos de 2016 a 2021

Em estudo realizado por Sousa e Santos (2020), para os anos de 2016 e 2018 foram encontrados os valores de 69,6 e 67,3% da área correspondente a vegetação mais densa, diferentemente do encontrado no presente trabalho, em que ao observar a Figura 5, a maior parte da área dos dois anos foi composta pela baixa densidade de vegetação. Essas diferenças se dão pela diferença de metodologia aplicada, onde os autores citados utilizaram uma classificação supervisionada com dados do Landsat para a imagem de um dia, e neste trabalho, foi realizada com uma composição temporal de vários meses com o uso do NDVI.

O índice das condições da vegetação (VCI) foi obtido a partir do NDVI e representado a partir dos mapas a seguir, onde foi observado que há uma predominância da condição muito leve para o período chuvoso em quase todos os anos (Figura 6.), exceto para 2018, ano em que 61% da área foi correspondida pela condição “leve” e 23% “moderado”. Na região do setor sul da PEMP, foi notada uma condição mais crítica do local, com pontos da classe “Extremo”.

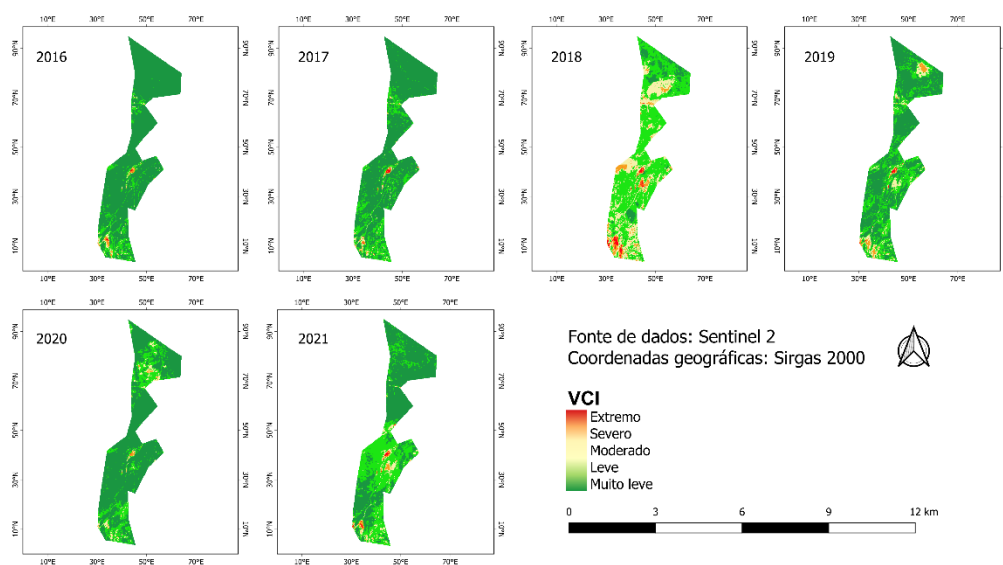


Figura 6. *Imagens do VCI CHUVOSO classificadas para a Mata da Pimenteira nos anos de 2016 a 2021*

No período seco, as melhores condições são percebidas em 2020 (Figura 7.), com a maioria dos pontos correspondendo a classe “moderado”, com cerca de 77%, e 15% da classe “Leve”. No geral, os outros anos tem a classe “severo” como predominante, porém, em 2016 havia uma parte considerável com piores valores das condições de vegetação, com um maior estresse das plantas, possivelmente devido ao período seco de 2012 a 2017 (GONDIM, 2017).

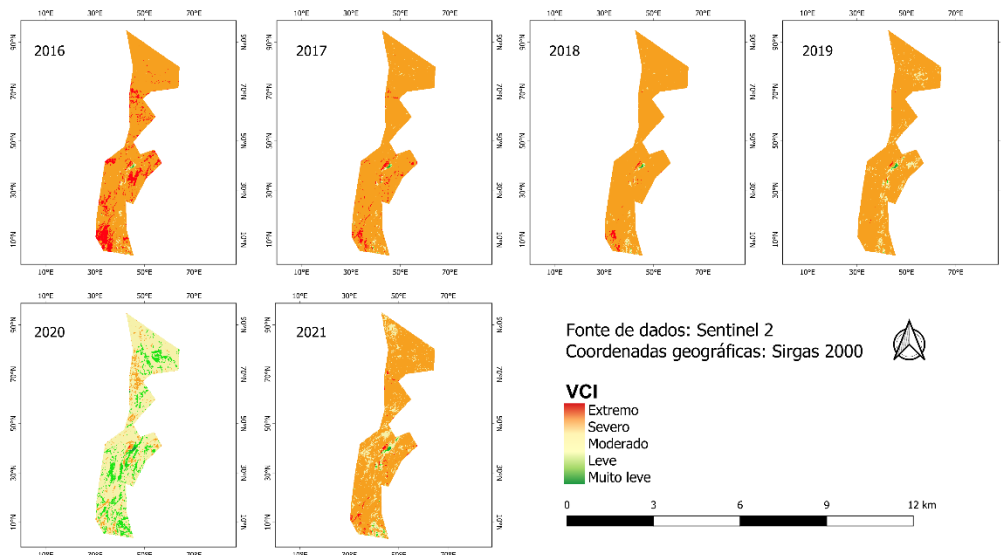


Figura 7. Imagens do VCI SECO classificado para a Mata da Pimenteira nos anos de 2016 a 2021

A Figura 8 representa a contagem das áreas do período chuvoso e seco do NDVI (Figura 8A e 8B) e VCI (Figura 8C e 8D) obtida pelo *r.report* do Qgis, a partir do qual percebe-se que o período chuvoso, com NDVI, apresenta mais de 90% da área com alta densidade de vegetação em quase todos os anos, exceto para 2018. Este ano atípico apresentou 62% da área como alta densidade e 34% como média densidade de vegetação.

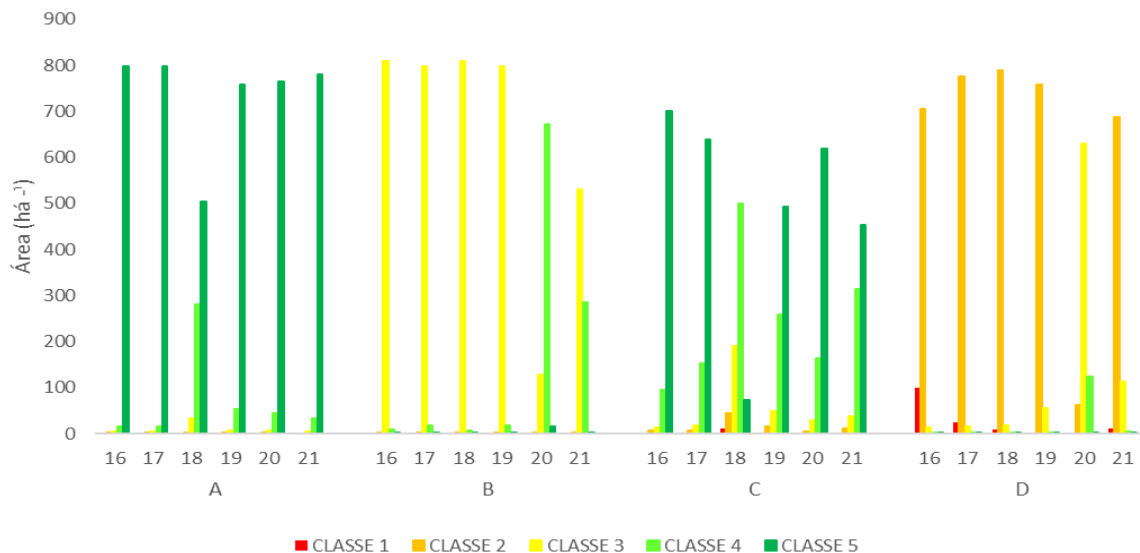


Figura 8. Área das classes dos índices de vegetação em hectares de 2016 a 2021. (A) NDVI CHUVOSO; (B) NDVI SECO; (C) VCI CHUVOSO; (D) VCI SECO.

No período seco, de 2016 a 2019 cerca de 98% da área é composta por baixa densidade de vegetação, semelhante ao encontrado por Bilar *et al.* (2018) onde

classificou mais de 95% da área em estado de estresse devido à ausência de folhas e solo exposto para o ano de 2016. O ano de 2020 representou apenas 16% da área com baixa densidade de vegetação e 2021 com 65%. Em 2020 é observado a maior presença da média densidade de vegetação com 82%.

O VCI no período chuvoso apresentou maior presença de área com classe muito leve, principalmente para 2016 com cerca de 86%, seguido por 2017 com 78% e 2020 com 76%. A área de 2018 foi a que teve a pior resposta para esse período, com 9% da condição muito leve, e 61% da condição leve.

No período seco, todos os anos exceto 2020 tiveram mais de 84% da área composta pela classe “severo”, com 2020 tendo a melhor avaliação com a classe “moderado”. De todos os anos 2016 apresentou parte da área com condição extrema, com cerca de 12%.

Áreas com maior presença da condição “severo” e principalmente “extremo” merecem maior atenção devido ao risco de incêndios pela presença da baixa umidade, podendo acontecer acidentalmente pela ruptura de linhas de energia ou pela ação humana (MAUGER, 2009). A atenção a eventos meteorológicos é importante para evitar danos ao ecossistema do Parque, e prevenir qualquer eventualidade.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do NDVI e VCI permitiu avaliar as mudanças na cobertura vegetal do solo ao longo dos anos estudados, podendo identificar áreas com maiores riscos de incêndio e com maior estresse, ajudando na tomada de decisão para soluções sobre possíveis problemas encontrados.

As maiores médias do NDVI foram encontradas em 2016 e 2017 com 0,7 para o período chuvoso e 0,36 para 2020 no período seco. No período chuvoso para maior parte dos anos a área é composta por mais de 90% da classe alta densidade de vegetação do NDVI, e de predominância da classe muito leve do índice das condições de vegetação. No período seco, o predomínio para o índice de vegetação por diferença normalizada é da classe de baixa densidade de vegetação, e do VCI da

classe “severo” para a maioria dos anos, exceto 2020 que obteve 77% da área classificada com o índice moderado.

Por fim, com o intuito de proteger o ecossistema do Parque Estadual Mata da Pimenteira, é importante a busca da conscientização dos moradores locais sobre a necessidade da proteção e de medidas preventivas contra adversidades, através de palestras, minicursos, cartilhas ou qualquer tipo de movimento que ensine e conscientize as pessoas sobre a necessidade de preservação. Novos estudos podem ajudar no entendimento das mudanças da cobertura do solo e observar as mudanças advindas da implantação do Parque, como também na realização da validação dos dados obtidos com a observação no campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, Asmala *et al.* Temporal changes in urban green space based on normalized difference vegetation index. **Applied mathematical sciences**, v. 8, n. 55, p. 2743-2751, 2014.

ALBUQUERQUE, A. M.; SILVA, S. B.; SALES, M. C. L. **Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (ndvi) para análise da degradação ambiental da área de influência direta do açude castanhão**. CADERNOS DE ENSINO, CIÊNCIAS & TECNOLOGIA, v. 1, n. Especial, p. 170-183, 2019.

AMARAL *et al.* Bases para o planejamento territorial urbano. Uso de imagens hiperespectrais para a identificação de áreas geradoras de funções ecológicas de suporte. **Cidades. Comunidades e Territórios**, n. 41, 2020.

ARAÚJO, MGDAS *et al.* NDVI como ferramenta de avaliação da expansão urbana em Área de Proteção Ambiental no município de Belém-PA. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 04, p. 386-402, 2019.

ARAÚJO, Saulo Alberto do Carmo *et al.* Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), em estresse hídrico. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 32, n. 1, p. 1-7, 2010.

BARROS, Juliany Mayra Teixeira de Moura *et al.* **Fungos micorrízicos em mudas de *Jatropha curcas* L. submetidas a estresse hídrico**. 2018.

BECERRA, Jorge Alberto Bustamante; SHIMABUKURO, Yosio Edemar; ALVALÁ, Regina Célia dos Santos. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de Cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 125-134, 2009.

BEZERRA, Joel M. *et al.* Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 73-84, 2014.

BEZERRA, A.C. *et al.* Monitoramento Espaço-Temporal da Detecção de Mudanças em Vegetação de Caatinga por Sensoriamento Remoto no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01, p. 286-301, 2020.

BILAR, A. *et al.* Monitoramento da cobertura vegetal através de índices biofísicos e gestão de áreas protegidas. **Geosul**, v. 33, n. 68, p. 236-259, 2018.

BRASIL. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**: Lei n.º 9.985, de 18 de julho de 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 4 fev. 2022.

CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente. (2013) **Parque Estadual Mata da Pimenteira, Plano de manejo**. Disponível em:

<http://www2.cprh.pe.gov.br/uc/parque-estadual-mata-da-pimenteira/>. Acesso em: 4 fev. 2022.

CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. UNICAMP/Instituto de Geociências, 1999

CUNHA, John E. *et al.* Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 539-548, 2012.

DA COSTA, Sidney Anderson Teixeira *et al.* **Dinâmica espaço-temporal das anomalias de precipitação em uma região semiárida, Nordeste do Brasil**. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 18, n. 2021, 2021.

DU, L.; TIAN, Q.; YU, T. MENG, Q.; JANCOS, T.; UDVARDY, P.; HUANG, Y. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 23, p. 245-253, 2013.

EMBRAPA. (2020). **SENTINEL - Missão Sentinel**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel>. Acesso em: 5 fev. 2022.

FILHO, J.; CARVALHO, F. Fenologia e valor nutritivo de espécies lenhosas caducifólias da caatinga. **Embrapa Caprinos e Ovinos-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 1998.

FONSECA, M.; LAMAS, I.; KASECKER, T. O papel das unidades de conservação. **Scientific American Brasil**, v. 39, p. 18-23, 2010.

GONDIM, Joaquim *et al.* **A seca atual no Semiárido nordestino–Impactos sobre os recursos hídricos**. *Parcerias Estratégicas*, v. 22, n. 44, p. 277-300, 2017.

GORELICK *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017.

HASHIM, Haslina; ABD LATIF, Zulkiflee; ADNAN, Nor Aizam. Urban vegetation classification with NDVI threshold value method with very high resolution (VHR) Pleiades imagery. **The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 42, p. 237-240, 2019.

KOGAN, Felix N. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 76, n. 5, p. 655-668, 1995.

LOURENÇO, Valéria Ramos; RAMOS, Nilvia Nara de Lucena Alves; COSTA, Carlos Alexandre Gomes. Distribuição Espaço-Temporal do NDVI sob Condições de Caatinga Preservada. **Espaço Aberto**, v. 7, n. 1, p. 101-110, 2017.

LOPES, Aline Alves *et al.* Monitoramento do Índice de Condição da Vegetação (ICV) utilizando imagens PROBA-V em áreas de pastagens. In: **Embrapa Territorial-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9., 2015. Anais... Campinas: IAC, 2015., 2015.

MAUGER, J., S. **Incêndios florestais: causas, consequências e como evitar**. Instituto Brasília Ambiental, 2009.

MARENGO, José A. *et al.* Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, v. 1, p. 385-422, 2011.

MORAES, E. C. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. 2002.

MOREIRA *et al.* Índice de Condição de Vegetação (VCI) para mapeamento de seca no Norte do Estado de Minas Gerais. **Anais Online do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa, PB, Brasil, INPE**, p. 1686-1692, 2015

MOURA, Matheus Magalhães Silva *et al.* Produção de serapilheira e suas frações em área da Caatinga no Semiárido Tropical. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 3, n. 5, p. 199-208, 2016.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Universidade de Brasília, Brasília**, 2012.

NOBRE *et al.* Monitoramento da biodiversidade—roteiro metodológico de aplicação. **Brasília: ICMBio. 40p, 2014.**

NERY, CVM; OLIVEIRA, D. B.; ABREU, L. HG **Estudo comparativo entre os índices NDVI obtidos a partir dos sensores Landsat 5-TM e Resourcesat-LISS III**. Caminhos de Geografia, v. 14, n. 46, p. 160-167, 2013.

PERNAMBUCO. **Parque Estadual Mata da Pimenteira: plano de manejo**. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade, Agência Estadual de Meio Ambiente. Recife, PE, 2013

PIMENTEL, Carlos. A relação da planta com a água. **Seropédica: Edur**, 2004.

PUREZA, F. **Unidades de conservação**. Matrix Editora, 2016.

ROSENDO, J. S. Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Araguari-MG utilizando dados do sensor Modis. **Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia**, 2005.

ROUSE, J. W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation [NASA/GSFCT Type II Report]. **Greenbelt, MD: NASA/Goddard Space Flight Center**, 1973.

SANTOS, E.M. dos; MAURO, M. Jr; SILVA-CAVALCANTI, J.S; ALMEIDA, G.V.L.de. Parque Estadual Mata da Pimenteira: Riqueza Natural e Conservação da Caatinga. **Recife: EDUFPRPE**, 2013, 257 p, ISBN: 978-85-7946-138-5

SANTOS, Reginaldo Ferreira; CARLESSO, Reimar. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, p. 287-294, 1998.

SENA, Joana Mayra Alves *et al.* Sazonalidade da umidade do solo e da cobertura vegetal em área de Caatinga preservada no estado de Pernambuco. In: **Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 12., 2017, Petrolina. Anais... Petrolina: Embrapa Semiárido, 2017., 2017.

SILVA, Caio Victor Santos *et al.* Monitoramento da cobertura vegetal por sensoriamento remoto no semiárido brasileiro através de índices de vegetação. **Nativa**, v. 7, n. 6, p. 708-717, 2019.

SILVA, Elisabeth Regina Alves Cavalcanti; DA SILVA MELO, José Gustavo; GALVINCIO, Josiclêda Domiciano. Identificação das Áreas Susceptíveis a Processos de Desertificação no Médio Trecho da Bacia do Ipojuca-PE através do Mapeamento do Estresse Hídrico da Vegetação e da Estimativa do Índice de Aridez (Identification of Areas Susceptible to...). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 3, p. 629-649, 2011.

SOUZA, A. A.; GALVÃO, L. S.; DOS SANTOS, J. R. Índices de vegetação derivados do sensor Hyperion/EO-1 para estimativa de parâmetros biofísicos de fitofisionomias de Cerrado. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil**, p. 25-30, 2009.

SOUSA, J. S.; SANTOS, E. M. Dinâmica da mudança do uso e cobertura da terra em uma paisagem da Caatinga protegida e sua zona de amortecimento. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 7, p. 219-234, 2020.

VALLEJO-VILLALTA, I.; RODRÍGUEZ-NAVAS, E.; MÁRQUEZ-PÉREZ, J. Mapping Forest Fire Risk at a Local Scale—A Case Study in Andalusia (Spain). **Environments**, v. 6, n. 3, p. 30, 2019.