



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**DINÂMICA ESPAÇO – TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL, DAS
QUEIMADAS E DA EXPANSÃO DA BOVINOCULTURA NA BACIA LEITEIRA DO
ESTADO DE PERNAMBUCO USANDO LANDSAT-8 E MAPBIOMAS**

RECIFE, PE 2023

MARIA VITÓRIA NEVES DE MELO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**DINÂMICA ESPAÇO – TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL, DAS
QUEIMADAS E DA EXPANSÃO DA BOVINOCULTURA NA BACIA LEITEIRA DO
ESTADO DE PERNAMBUCO USANDO LANDSAT-8 E MAPBIOMAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), como um dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Gledson Luiz Pontes de Almeida

Coorientador: Marcos Vinícius da Silva

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)

- M528d Neves de Melo, Maria Vitória
Dinâmica espaço – temporal da cobertura vegetal, das queimadas e da expansão da bovinocultura na bacia leiteira do estado de Pernambuco usando landsat-8 e MapBiomias / Maria Vitória Neves de Melo. - 2022.
34 f. : il.
- Orientador: Gledson Luiz Pontes de Almeida.
Coorientador: Marcos Vinicius da Silva.
Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental, Recife, 2022.
1. Degradação da Caatinga. 2. queimadas. 3. Semiárido. 4. LULC. 5. SAVI. I. Almeida, Gledson Luiz Pontes de, orient. II. Silva, Marcos Vinicius da, coorient. III. Título



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

DOCUMENTO DE REGISTRO DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 12 dias do mês de dezembro de 2022 às 14 horas, realizou-se a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado: “Dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal, das queimadas e da expansão da bovinocultura na bacia leiteira do estado de Pernambuco usando Landsat-8 e MapBiomas”, pela aluna **Maria Vitória Neves de Melo** de acordo com as Normas Gerais dos Cursos de Graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco e complementadas pelas Normas Internas (PPC) do Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental aprovadas pelo Colegiado de Coordenação Didática do Curso.

A Comissão examinadora foi composta pelos professores:

Gledson Luiz Pontes de Almeida (Orientador)

Pabrcio Marcos Oliveira Lopes (Membro participante)

Júlio Da Silva Corrêa De Oliveira Andrade (Membro participante)

Após a apresentação do TCC e efetuadas as arguições, a aluna recebeu da comissão examinadora os seguintes conceitos.

Membro	Nota
Gledson Luiz Pontes de Almeida	10,0 (dez vírgula zero)
Pabrcio Marcos Oliveira Lopes	9,5 (nove vírgula cinco)
Júlio Da Silva Corrêa De Oliveira Andrade	10,0 (dez vírgula zero)

De acordo com os conceitos atribuídos a aluna foi considerada aprovada, obtendo nota média de 9,8 (nove vírgula oito), devendo proceder às correções necessárias e entregar a versão final do TCC no prazo máximo de 30 (trinta) dias.

Conferem o presente documento, que não apresenta rasuras nem emendas as seguintes pessoas:

(Orientador)

(Membro participante)

(Membro participante)

Aluna: Maria Vitória Neves de Melo _____

Secretariada por Tatiana Menezes _____

Recife, 12 de dezembro de 2022.

DEDICATÓRIAS

Dedico esse trabalho a Deus por ter me permitido chegar até aqui e a “Mainha” (Flávia Neves), por ter me ajudado em todo o processo, por ter sido minha rede de apoio e acreditado em mim todo o tempo.

“É necessário sempre acreditar que o sonho é possível, que o céu é o limite e você, truta, é imbatível, que o tempo ruim vai passar, é só uma fase... O aprendizado foi duro, e mesmo diante desse revés não parei de sonhar, fui persistente, porque o fraco não alcança a meta.”

Racionais MC's

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me mostrar o caminho até aqui e me fazer ver que acreditar no processo e ter vontade é o primeiro passo para chegar onde eu quero, e acima de tudo, não ter me permitido desistir mesmo com todas as adversidades.

À Mainha, pois tudo que eu sou hoje e conquistei, veio do seu esforço e trabalho duro. Por sempre me mostrar que estudar era o melhor caminho para ascender e a importância da educação. Também, a minha família que de alguma maneira me deram suporte nessa caminhada.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco por fornecer um ensino de qualidade, inclusivo e gratuito. Pelos seus programas de assistência estudantil, os quais me permitiram ir e vir da universidade durante todos esses anos. Também a todos os profissionais que cuidam da manutenção da universidade, e aos profissionais do Restaurante Universitário, em especial à Tia Cleide, Marcia, Fabiana e Tio Silvio.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola, à coordenação do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental. Um agradecimento a especial a Daniella Amorim, Marianne Lima, Amilton Júnior, Tatiana Menezes, Manassés Mesquita e Emanuel Di Tarso, e a outros profissionais que tive a honra de conviver e aprender. Aos meus orientadores Gledson Almeida, Pedro Batista e Marcos Vinícius por todo o apoio, paciência e oportunidades, a todos os meus mestres que já me ensinaram e ao Grupo de Pesquisa e Ambiência (GPESA) por ter sido minha casa durante quatro anos, em especial, as pesquisadoras e amigas Nicolly Farias e Taize Cavalcante, e a todos os pesquisadores e profissionais que conheci durante minhas pesquisas.

Agradeço também aos meus professores do ensino médio, por acreditar que eu conseguiria ingressar numa universidade pública e também, a Professora e amiga, Nai Monteiro pelo suporte e aprendizado na escrita, sem seu apoio, seria mais difícil iniciar essa jornada.

Aos meus amigos, Arthus Douglas, Danilo J. Barros, Douglas Silva, Eyshila Brito, Giovana Maria da Silva, Iracema Calixto, Ivana Luiza, Izabela Batista, Jhonatan Ruan, Julia Gabriela, Julyane Polycarpo, Karla Emmanuelle, Kézia Nogueira, Letícia Eduarda, Lucas José de Souza, Mayara Germana, Samara Aline, Ted Victor, Thiago Henrique, Vanessa Rayanne e Viviane Oliveira, que me incentivaram e me apoiaram em diversos momentos de dificuldades, tanto acadêmica quanto pessoal.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. HIPÓTESES	11
3. OBJETIVOS	11
3.1. Gerais.....	11
3.2. Específicos.....	11
4. MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1. Caracterização da área de estudo.....	12
4.2. Processamento digital dos índices de vegetação em nuvem da <i>Google Earth Engine</i>	13
4.3. Caracterização do período seco e chuvoso via normais climatológicas.....	14
4.4. Caracterização pluviométrica na região de estudo.....	14
4.5. Frequência de fogo e Áreas queimadas via MapBiomias Fogo.....	15
4.6. Dinâmica da cobertura vegetal via MapBiomias Brasil.....	15
4.7. Análise dos impactos nas políticas públicas locais.....	15
4.8. Análise Estatística descritiva.....	16
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
5.1. Análise temporal da chuva durante o período de estudo via <i>Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data</i> (CHIRPS).....	16
5.2. Classes MapBiomias Brasil para a região de estudo.....	19
5.3. Análise dos índices de vegetação SAVI e CVP.....	21
5.4. Frequência de fogo e áreas queimadas via MapBiomias Fogo.....	27
6. CONCLUSÕES	28
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

RESUMO

O semiárido é responsável por cerca de 58% do rebanho efetivo da região do Nordeste Brasileiro (NEB), no entanto, existem fatores locais e meteorológicos que limitam a região semiárida. Objetivou-se avaliar a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal através do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Coeficiente Vegetal de Pastagem (CVP) via imagens do Landsat- 8/OLI processadas em nuvem na *Google Earth Engine* (GEE), mensurando os cenários de áreas queimadas, e caracterizando a expansão da bovinocultura na bacia leiteira no estado de Pernambuco por meio do uso e cobertura do solo (LULC) e seus impactos no Bioma da Caatinga. A região de estudo compreende os 23 municípios que mais produzem leite no estado, entre os anos de 2016 e 2021 divididos em período seco e chuvoso. Os Índices de Vegetação foram processados na GEE e a espacialização da chuva foi feita por meio do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CRHIRPS) e ambos os dados foram submetidos a estatística descritiva. Os mapas temáticos do LULC e áreas queimadas foram processados no Software QGIS. Com isso, foi observado que no período seco e chuvoso de 2016 a 2020 houve uma média precipitada de 77,98 mm e 331,19 mm, respectivamente. No período chuvoso de 2016, foi observado uma menor precipitação quando comparada aos outros anos do estudo, pois foi o período que sofreu influência das grandes secas que antecederam o ano em questão. Quanto aos índices de vegetação no período seco, o SAVI apresentou menores respostas espectrais ao longo do período de estudo, resultado da baixa precipitação da região e no chuvoso com alta atividade da biomassa com valores acima de 0,78. O SAVI e CVP apresentaram-se com média a alta variabilidade. As áreas queimadas mostraram que as atividades antrópicas em alguns setores da bacia causaram a mudança no LULC, resultando em processos de degradação, mesmo em regiões com maiores precipitações. Portanto, conclui-se que as análises dos produtos CHIRPS, SAVI, CVP associados com a estatística descritiva e os mapas da LULC e área queimada, foi eficiente para a caracterização espaço-temporal da expansão da bovinocultura na bacia leiteira do estado de Pernambuco durante todo o período de estudo.

Palavras-Chaves: Degradação da Caatinga; LULC; Queimadas; SAVI; Semiárido

ABSTRACT

The semi-arid is responsible for about 58% of the effective herd in the Brazilian Northeast region (NEB), however, there are local and meteorological factors that limit the semi-arid region. The objective was to evaluate the space-time dynamics of vegetation cover through the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) and Pasture Plant Coefficient (CVP) via Landsat-8/OLI images processed in the cloud on Google Earth Engine (GEE), measuring the scenarios of burned areas and characterizing the expansion of cattle farming in the dairy basin in the state of Pernambuco through land use and cover (LULC) and its impacts on the Caatinga Biome. The study region comprises the 23 municipalities that produce the most milk in the state, between 2016 and 2021, divided into dry and rainy seasons. The Vegetation Indexes were processed in the GEE and the spatialization of the rain was made through the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CRHIRPS) and both data were submitted to descriptive statistics. LULC thematic maps and burned areas were processed in QGIS software. Thus, it was observed that in the dry and rainy period from 2016 to 2020, there was average precipitation of 77.98 mm and 331.19 mm, respectively. In the rainy season of 2016, less precipitation was observed when compared to the other years of the study, as it was the period that was influenced by the great droughts that preceded the year in question. As for the vegetation indices in the dry period, the SAVI presented lower spectral responses throughout the study period, as a result of low precipitation in the region and the rainy season with high biomass activity with values above 0.78. The SAVI and CVP showed medium to high variability. The burned areas showed that anthropic activities in some sectors of the basin caused the change in the LULC, resulting in degradation processes, even in regions with greater precipitation. Therefore, it is concluded that the analysis of the products CHIRPS, SAVI, CVP associated with the descriptive statistics and the maps of the LULC and burned area, was efficient for the space-time characterization of the expansion of cattle farming in the dairy basin of the state of Pernambuco throughout the study period.

Keywords: Burns; Degradation of the Caatinga; LULC; SAVI; Semiarid

1. INTRODUÇÃO

Responsável por cerca de 21% do Produto Interno Bruto (PIB) e 50% das exportações comerciais do território brasileiro, a agropecuária é um importante setor para o desenvolvimento socioeconômico do País (IPA, 2022). Ainda, a *Food and Agriculture Organization* (FAO) destacou que o Brasil ocupa a terceira posição no ranking da produção mundial de Leite, a qual, o Nordeste contribui significativamente, sendo a terceira região que mais produz leite no país (ROCHA et al., 2020).

O semiárido brasileiro ocupa 12% do território nacional, localizado em sua grande maioria no Nordeste Brasileiro (NEB). O semiárido possui cerca de 58% do rebanho efetivo da região Nordeste (INSA, 2022), no entanto, existem fatores locais e meteorológicos que limitam a região semiárida, visto que, a mesma é extremamente sensível às mudanças climáticas, com irregularidade das chuvas e altas taxas de evapotranspiração, elementos que, somados ao desmatamento de vegetação nativa (Caatinga), além de estar sob extensiva e intensiva atividade agropecuária (MARENGO et al., 2017; QUEIROZ et al., 2020; GORI MAIA et al., 2021). Como respostas a essas limitações temos a ocorrência de terras em processo de desertificação (e.g., núcleos de desertificação), solos degradados, extensos períodos de déficit hídrico e condições socioeconômicas e de infraestruturas instáveis (BURNEY et al., 2014; SILVA et al., 2020a).

O bioma da Caatinga é exclusivamente brasileiro, compreendendo cerca de 11% do território nacional e 70% da região Nordeste, sendo caracterizado por um clima semiárido com vegetação xerófila, com cactáceas, árvores de porte baixo, troncos tortuosos, ao qual apresenta espinhos e suas folhas caem no período da seca, com uma alta taxa de resiliência da vegetação na estação das chuvas (PINHEIRO et al., 2016; RICARDO et al., 2018). Cada bioma possui diferentes respostas quanto a vulnerabilidade ao fogo e expansão de queimadas, enquanto que o bioma da Caatinga é ecologicamente independente do fogo, ou seja, não “queima facilmente” (PIVELLO et al., 2021), no entanto, no período da seca, fica susceptível a degradação das terras, intensificada mais tarde pela ação antrópica no meio (e.g., atividade extrativista, manejo inadequado das terras, para práticas de agricultura e pecuária, abandono de terras degradadas, entre outros), tornando-se vulnerável as queimadas (ALTHOFF et al., 2016). Concomitantemente a todos os fatores antes descritos, o bioma Caatinga ainda sofre com as consequências das secas intensas, ocorridas em meados da década 1990, que se tornaram mais polarizadas na década de 2010 (grandes secas de 2010-2016) (MARENGO et al., 2017; SILVA et al., 2020b; SILVA et al., 2021).

O Ministério do Meio Ambiente (MMA), afirma que o bioma da Caatinga, quando bem conservado, possui grande potencial em proporcionar o desenvolvimento da região, assim como para o país, no entanto, o manejo inadequado da área, ocasionado por fatores antrópicos (e.g., grandes áreas destinadas para pastagens, agricultura e urbanização) e naturais (e.g., incêndios espontâneos e desastres naturais), vem acentuando a sua degradação (MMA, 2022). Dessa forma, torna-se necessário realizar o monitoramento desta região, a fim de auxiliar na implementação de políticas públicas voltadas para a conservação do território, além de possibilitar uma melhor gestão de terras e mitigar a degradação e seus efeitos no semiárido brasileiro. Esse monitoramento é viabilizado pela possibilidade de realização de estudos aplicados as mudanças no uso e cobertura da terra (LULC) (SANTOS et al., 2020; FERNANDES et al., 2020).

Diante da importância de se compreender os impactos causados na região semiárida do país, estudos envolvendo técnicas de Sensoriamento Remoto vem sendo explorados para realizar o monitoramento espaço-temporal de forma eficiente, prática e menos onerosa dessas áreas (SILVA et al., 2020b; SILVA et al., 2020c). Como exemplo, podemos destacar a plataforma Google Earth Engine (GEE), que possibilita o processamento de imagens em nuvem, podendo realizar de cálculos de índices de vegetação, os quais são capazes de destacar a dinâmica espacial da biomassa (KUMARI et al., 2021; SILVA et al., 2021). Em estudo realizado por Santos et al. (2020), foi utilizado o uso do processamento em nuvem na GEE com o objetivo de quantificar as mudanças e supressão da cobertura vegetal no semiárido brasileiro (entre os anos 2000 a 2018). Os autores apontaram uma perda de mais de 25% ao longo dos 18 anos, além disso, foi possível identificar os anos com maior e menor supressão da área vegetal, 2016 e 2002, respectivamente.

Diante do exposto, é de fundamental importância a realização de estudos e exploração da dinâmica da cobertura vegetal, através de técnicas de Sensoriamento Remoto, bem como a incidência de focos de calor, queimadas e de fogo no bioma Caatinga, considerando ainda que a região de estudo compreende a bacia leiteira do estado de Pernambuco, região que é considerada a segunda maior produtora de leite da região do Nordeste Brasileiro (NEB).

2. HIPÓTESES

- A degradação ambiental da bacia leiteira do estado de Pernambuco está ligada ao uso e ocupação da terra;
- A dinâmica de queimadas está associada principalmente a fatores antrópicos na bacia leiteira.

3. OBJETIVOS

3.1. Gerais

Objetivou-se avaliar a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal através do SAVI, e o CVP via imagens do Landsat-8/OLI processadas em nuvem na GEE, visualizar os cenários de áreas queimadas e caracterizar a expansão da bovinocultura na bacia leiteira no estado de Pernambuco entre os anos de 2016 a 2020.

3.2. Específicos

- Verificar o grau de degradação da cobertura vegetal na bacia leiteira do estado de Pernambuco via índices de vegetação processados na Google Earth Engine;
- Caracterizar o uso e cobertura do solo (LULC, sigla no inglês) para a bacia leiteira em questão, via produtos do MapBiomas Brasil;
- Especializar e avaliar a dinâmica espacial das chuvas no período seco e chuvoso, entre os anos de 2016 a 2020 para a bacia leiteira via *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS), através da interpolação pelo inverso da distância ao quadrado (IDW);
- Avaliar a influência das queimadas no uso e cobertura do solo na bacia leiteira do semiárido pernambucano usando imagens orbitais e MapBiomas;
- Caracterizar a expansão da bovinocultura na bacia leiteira no estado de Pernambuco, para dinamizar a logística da bacia e auxiliar os produtores locais.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada na bacia leiteira do Estado de Pernambuco, a maior bacia da região Nordeste do Brasil (Rocha et al., 2020). A região está localizada na mesorregião Agreste, Nordeste do Brasil (NEB) (entre os paralelos de 08°10'S e 09°20'S e, os meridianos de 36°05'W e 37°25'W e, altitude variando de 240 a 1090 m) (Figura 1). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região de estudo é do tipo Am"—clima tropical úmido ou subúmido, "Aw"—clima tropical com estação seca de inverno e "BSh"—semiárido quente (Alvares et al., 2013; Beck et al., 2018) – (Figura 1).

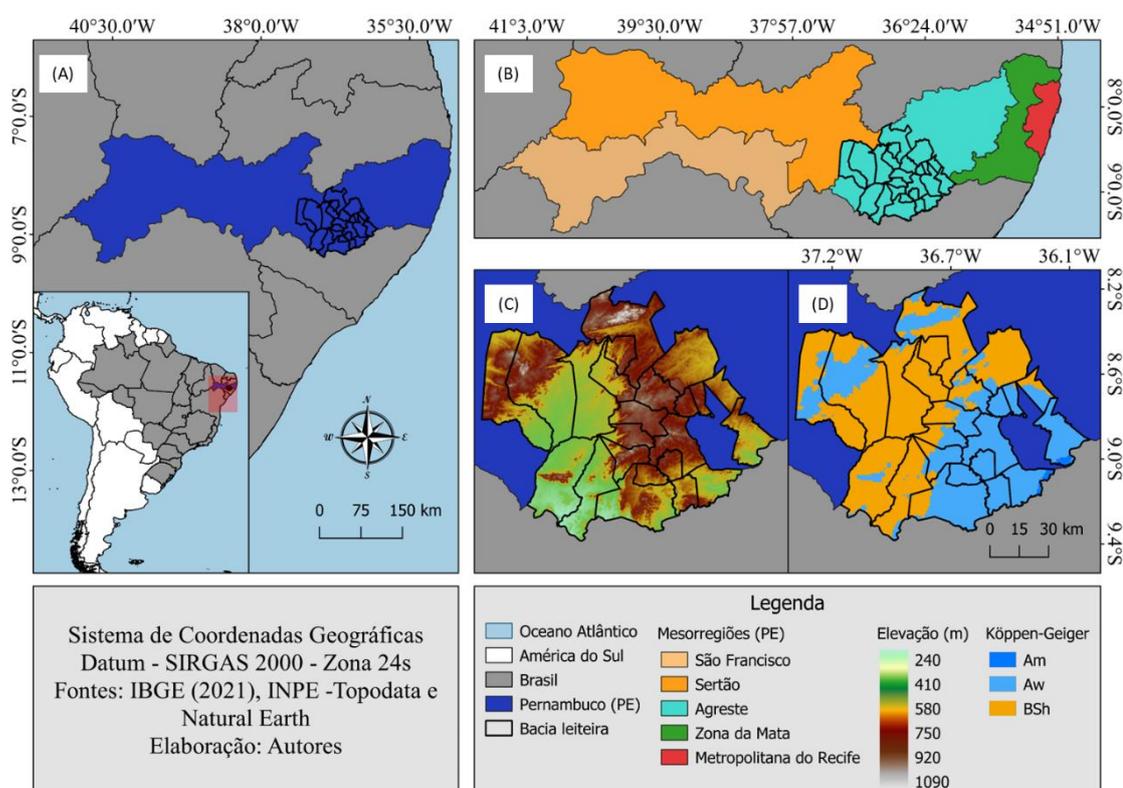


Figura 1. Caracterização da área de estudo (A e B) seguida da elevação topográfica (mm) baseado em dados do *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM* (30 m) (C) e da classificação climática de Köppen-Geiger (D).

A área de estudo é composta por 23 municípios que compõem a bacia leiteira do Estado de Pernambuco, sendo os municípios de Águas Belas, Alagoinha, Bom Conselho, Brejão, Buíque, Caetés, Canhotinho, Capoeiras, Correntes, Garanhuns, Iati, Jucati, Jupi, Lagoa do Ouro, Lajedo, Paranatama, Pedra, Pesqueira, Saloá, São Bento do Una, Terezinha, Tupanatinga

e Venturosa (Banco de Dados Estadual - BDE, 2020). A bacia leiteira tem impacto direto na economia do Estado e é responsável por 3,1% do Produto Interno Bruto (PIB) (IBGE, 2020).

4.2. Processamento digital dos índices de vegetação em nuvem da *Google Earth Engine*

Foi determinado o índice de Vegetação Ajustado as Condições do Solo (SAVI), que busca amenizar os efeitos antecedentes do solo, conforme a Eq. 1 (Huete, 1988).

$$SAVI = \frac{(1+L) \times (r_{b\ IV} - r_{b\ V})}{(L + r_{b\ IV} + r_{b\ V})} \quad (\text{Eq. 1})$$

em que, L é o coeficiente de ajuste; $r_{b\ IV}$ é a refletância da banda 4; e, $r_{b\ V}$ refletância da banda 5.

A adoção do L foi estabelecida de acordo com descritos na literatura, em que se estabelecem: áreas com baixa densidade da vegetação, $L = 1$; para densidade intermediária da vegetação, $L = 0,5$, e para alta densidade de vegetação, $L = 0,25$ (Silva et al., 2020a; Silva et al., 2020b; Silva et al., 2021). Diante disso, adotou-se o L de 0,5, devido ao presente estudo, ser realizado no bioma Caatinga (densidade intermediária da vegetação).

Posteriormente, com o intuito de destacar o nível de susceptibilidade à degradação do solo, o mapa temático do SAVI com seus valores mínimo e máximo foram utilizados para obtenção CVP (%), de acordo com a Eq. 3 (adaptada de Gao et al., 2006).

$$CVP = \left(\frac{SAVI - SAVI_{\min}}{SAVI_{\max} - SAVI_{\min}} \right) * 100 \quad \text{Eq. (3)}$$

em que, CVP é o índice de cobertura vegetal de pastagem; $SAVI_{\min}$ menor valor do índice SAVI observado entre os pixels representativos de áreas com solo exposto na área de estudo; e, $SAVI_{\max}$ maior valor do índice SAVI encontrado entre os pixels da área de pastagem.

O conjunto de imagens utilizadas para processamento dos índices de vegetação são provenientes do satélite Landsat-8, disponibilizadas pela USGS, processadas em nuvem no ambiente computacional *Google Earth Engine* (<<https://earthengine.google.com/>>) utilizando a linguagem de programação em *JavaScript*. Foram produzidos mapas temáticos do período seco e chuvoso que abrange o período de 01/01/2016 a 31/12/2020, totalizando 30 imagens por

índice de vegetação. Os layouts dos mapas de índice de vegetação serão confeccionados no *software* QGIS versão 3.16.

4.3. Caracterização do período seco e chuvoso via normais climatológicas

A fim de caracterizar o período seco e chuvoso da bacia de estudo, foi feito um levantamento das normais climatológicas de 1981-2010, disponibilizadas no Instituto Nacional de Meteorologia, no seguinte link: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>> (INMET, 2010). As estações meteorológicas utilizadas são referentes aos municípios de Pesqueira (latitude 8°24'00"S, longitude 36°46'12"W e altitude de 618 m) e Garanhuns (latitude 8°54'39"S, longitude 36°29'36"W e altitude de 829 m). O período seco compreende os meses de setembro a dezembro, enquanto o período chuvoso compreende os meses de abril a julho, sendo o mês de agosto transição de período chuvoso para seco, e os meses de janeiro a março, transição de período seco para chuvoso.

4.4. Caracterização pluviométrica na região de estudo

A fim de verificar possíveis influências das chuvas sob a região de estudo, foi feito um levantamento pluviométrico de 01/01/2016 a 31/12/2020, período correspondente ao processamento digital das imagens. Os produtos foram obtidos do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS), abrangendo 50°S-50°N (todas as longitudes). O CHIRPS incorpora climatologia interna, imagens de satélite com uma resolução espacial de $0,05 \times 0,05^\circ$ ($5,55 \times 5,55$ km). O CHIRPS possui estimativas de precipitação de uma série de mais de 35 anos, partindo de 1981 até o presente momento, com uma periodicidade diária.

Os dados foram obtidos na plataforma *Climate Engine*, disponibilizadas no seguinte endereço: <<https://app.climateengine.org/climateEngine>>. Foram geradas imagens raster referentes ao acumulado de cada período (seco e chuvoso), para avaliar e correlacionar a dinâmica espacial da vegetação com a precipitação. A partir da obtenção dos arquivos raster para cada imagem, estes foram transformados em arquivos vetoriais de pontos (.shp), e posteriormente interpolados pela técnica IDW (*Inverse Distance Weighted*). O processamento foi realizado no *software* QGIS versão 3.12 (Quantum GIS, 2019).

4.5. Frequência de fogo e Áreas queimadas via MapBiomias Fogo

Foi realizada uma caracterização da área queimada na região de estudo, com base nas estimativas de cicatrizes de fogo realizadas pelo MapBiomias, que possui um processamento de mais de 150 mil imagens geradas pelos satélites Landsat 5, 7 e 8/OLI de 1985 a 2020.

A plataforma MapBiomias, com a ajuda de inteligência artificial, analisou a área queimada em cada pixel de 30 m x 30 m dos mais de 8,5 milhões de quilômetros quadrados do território brasileiro, ao longo dos 36 anos entre 1985 e 2020, independente do uso e cobertura do solo (MapBiomias Fogo, 2021). Os dados foram coletados na plataforma do MapBiomias em formato GEO TIF, então, no *software* QGIS, foi realizada a conversão de raster para pontos e então foi aplicada a densidade de Kernel com um raio de abrangência de 5 km (aproximadamente 0,045°).

Os dados de queimadas estão disponibilizados em mapas e estatísticas anuais, mensais e acumuladas, para qualquer período entre 1985 e 2020 no seguinte link: <<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>> (MapBiomias Fogo, 2021). A plataforma também inclui dados de frequência de fogo, indicando as áreas mais afetadas nos últimos 36 anos. A resolução é de 30 m, com indicação do tipo de cobertura e uso do solo que queimou, permitindo recortes territoriais e fundiários por bioma, estado, município, bacia hidrográfica, unidade de conservação, terra indígena, assentamentos e áreas com Cadastro Ambiental Rural (CAR).

4.6. Dinâmica da cobertura vegetal via MapBiomias Brasil

Para avaliar o impacto que as mudanças no uso da terra podem promover, foram extraídos dados de cobertura vegetal para região de estudo proveniente da plataforma MapBiomias (MapBiomias Brasil, 2021), que se encontram disponíveis no seguinte endereço eletrônico: <<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>>.

4.7. Análise dos impactos nas políticas públicas locais

A fim de identificar os principais impactos ocasionados nas políticas públicas da região, foi realizado um levantamento *in loco* em cada uma das 23 prefeituras dos municípios estudados, elucidando quais os principais impactos que a atividade agropecuária confronta no momento. A partir dos resultados levantados, foi feito um comparativo com os resultados apontados pelos índices de vegetação, focos de calor, áreas queimadas e uso e cobertura do solo evidenciados neste estudo. Tal abordagem, torna-se fundamental para validação dos resultados observados neste estudo.

4.8. Análise Estatística descritiva

A estatística descritiva foi realizada no *software* QGIS e as imagens de chuva e os índices de vegetação foram submetidos ao processamento digital para obtenção da média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão, coeficiente de variação (CV, %), assimetria e curtose. O valor percentual do CV será categorizado como baixo ($CV < 12\%$); médio (se $12\% \leq CV \leq 24\%$) e alto (quando o $CV > 24\%$) – (Warrick e Nielsen, 1980).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Análise temporal da chuva durante o período de estudo via *Climate Hazards Group*

InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS)

Mapas de precipitação do CHIRPS correspondentes ao período seco e chuvoso são exibidos na Figura 4A e 4B. No período seco (setembro a dezembro) a precipitação variou entre 15 a 193 mm, ao contrário do período chuvoso (abril a julho), com variação de 147 mm a 1336 mm. Os maiores valores de precipitações ocorreram na região leste da bacia leiteira, esse fenômeno ocorre, pois, trata-se de uma área que faz divisa com a mesorregião da zona da mata do estado de Pernambuco, que por sua vez, sofre influência direta das massas de ar oriundas do oceano atlântico. Corroborando com os resultados do presente estudo Silva et al. (2021b), observaram que regiões próximas do litoral pernambucano registram maiores pluviosidades por sofrerem interferências direta das massas de ar oceânicas do atlântico norte e sul. Terassi et al. (2022) em seus estudos mostram que regiões litorâneas possuem chuvas de maiores intensidades devido a interferência das massas oceânicas.

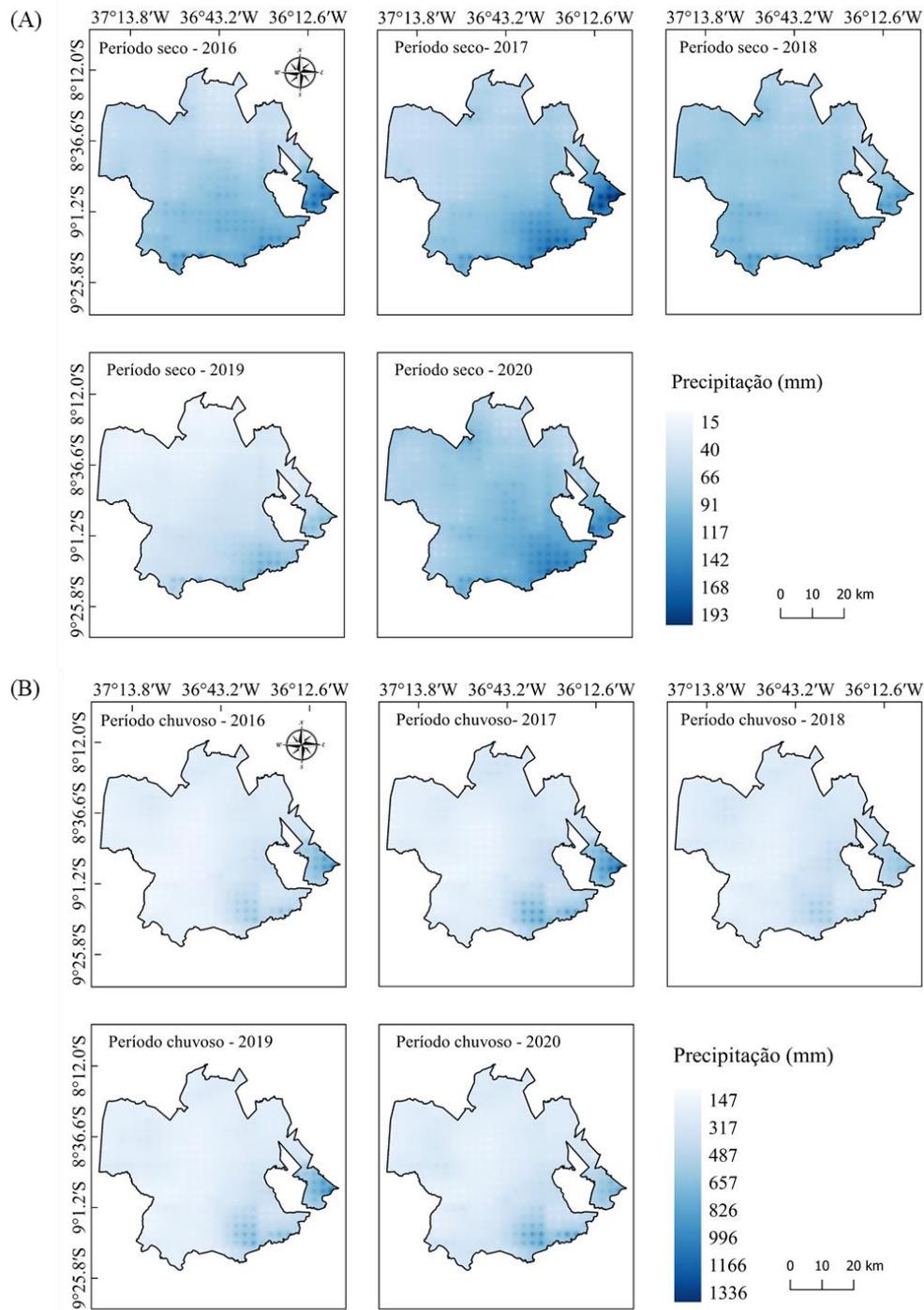


Figura 4. Dinâmica espacial das chuvas via CHIRPS para o período seco (A) e chuvoso (B), no período de 2016-2020.

A utilização e aplicação dos produtos do CHIRPS na caracterização pluviométrica é um meio alternativo na obtenção de informações e caracterização da dinâmica das chuvas na região do Nordeste do Brasil (NEB), conforme apontado no estudo de Melo et al. (2022).

Paredes-Trejo et al. (2017) realizaram a validação dos produtos provenientes do CHIRPS com coeficiente de determinação significativo ($R^2 > 0,940$) para o NEB, dessa forma assegurando a aplicabilidade dos produtos do CHIRPS. A baixa precipitação impulsiona diversos fenômenos de desertificação da terra como a degradação da vegetação e erosão do solo, conforme evidenciado por Mariano et al. (2018) e Jimenez et al. (2019) que utilizaram o conjunto de dados CHIRPS para caracterizar a variabilidade espaço-temporal da chuva no NEB, e observaram tendências de eventuais períodos de seca e desertificação da terra, assim como a formação de núcleos de desertificação. Em conformidade com os resultados apontados em nosso estudo Santos et al. (2019) afirmam a confiabilidade de se utilizar os produtos CHIRPS para a avaliação de precipitação no NEB. A precipitação é uma variável que possui grande no LULC e degradação da terra, que por sua vez reflete na vulnerabilidade da terra ao fogo (SPARACINO et al., 2020; SILVA JÚNIOR et al., 2020; PIVELLO et al., 2021).

A caracterização pluviométrica da região de estudo é representada através da estatística descritiva e CVP (%) para o período seco e chuvoso, conforme observado na Tabela 1. Nos períodos secos e chuvosos de 2016 a 2020 obtivemos uma precipitação média de 77.98 e 331.19 mm, respectivamente. Conforme os valores médios reais da precipitação no período seco, foi observado uma baixa pluviosidade com destaque para o ano de 2019, que apresentou uma precipitação abaixo da média, na ordem de 47.05 mm. Enquanto que no período chuvoso, foi observado uma homogeneidade entre os valores precipitados na bacia leiteira durante todo os anos de estudo, além de valores próximos a média precipitada na série temporal. No entanto, vale salientar que no período chuvoso de 2016, foi observado uma menor precipitação quando comparada aos outros anos do estudo, decorrente principalmente da influência das grandes secas que antecederam o ano em questão (MARENGO et al., 2017).

Tabela 1. Estatística descritiva para os mapas das chuvas via CHIRPS para o período seco e chuvoso entre 2016-2020, com valores de média, mínimo, máximo, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV, %).

Satélite	Períodos	Anos	Médias	Mínimos	Máximos	DP	CV
Precipitação (mm)							
CHIRPS	Seco	2016	79,26	32,33	192,84	20,11	25,38
		2017	85,43	49,91	220,32	23,31	27,28
		2018	87,99	52,22	156,54	11,56	13,14
		2019	47,05	14,72	125,05	16,68	35,46

	2020	90,18	46,77	167,35	17,54	19,46
Chuvoso	2016	307,98	146,95	1090,02	97,36	31,61
	2017	346,86	153,56	1335,68	126,57	36,49
	2018	333,74	172,87	816,04	71,45	21,41
	2019	317,23	158,01	1142,39	105,64	33,30
	2020	350,16	184,56	938,29	103,29	29,50

De acordo com a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), os valores de CV apresentados na tabela 1, no período seco, os anos de 2018 e 2020 o CV apresentou uma variabilidade média ($12\% \leq CV \leq 24\%$) e os demais anos apresentaram uma alta variabilidade ($CV > 24\%$). Já no período chuvoso, apenas o ano de 2018 apresentou-se com média variabilidade, enquanto os demais anos mostraram-se com alta variabilidade. Valores de CV variando de médio a alto é comumente observado em dados de precipitação pluvial. Corroborando com os resultados desse estudo Silva et al. (2021b), que avaliaram os padrões das chuvas na mesorregião da Zona da Mata e Metropolitana de Recife, Pernambuco, por meio de modelos de interpolação geostatísticos, no qual, os autores observaram CV variando de médio a alto para dados de precipitação pluvial, destacando que essa alta variabilidade se dá principalmente por fatores abióticos (e.g., temperatura, umidade do ar, evapotranspiração, massas de ar, entre outros).

5.2. Classes MapBiomias Brasil para a região de estudo

A Figura 5A e 5B representam as classes provenientes do MapBiomias Brasil entre os anos de 2016 e 2020. Observa-se que ao longo do período de estudo a área urbana cresceu rente a vegetação (Caatinga) entre os anos de 2016 a 2019, além disso, a urbanização e a agricultura cresceram simultaneamente durante todo o período de estudo. Os municípios que compõem a região de estudo, conforme o BDE (2020) são os maiores produtores de gado leiteiro do estado de Pernambuco, isso implica em uma grande atividade antrópica nessas regiões, o que explica esse crescimento de áreas agrícolas e urbanização. Quanto ao aumento da vegetação da Caatinga, pode ser explicado devido a produção de palma forrageira que é uma cultura alternativa para a alimentação de vacas leiteiras e muito produzida na região semiárida do país (NEVES et al., 2010; VASCONCELOS, 2009). Resultados semelhantes foram encontrados nos estudos de Silva et al. (2021a) os quais mostram um aumento das áreas de Caatinga devido a produção de palma forrageira na região semiárida do estado de Pernambuco.

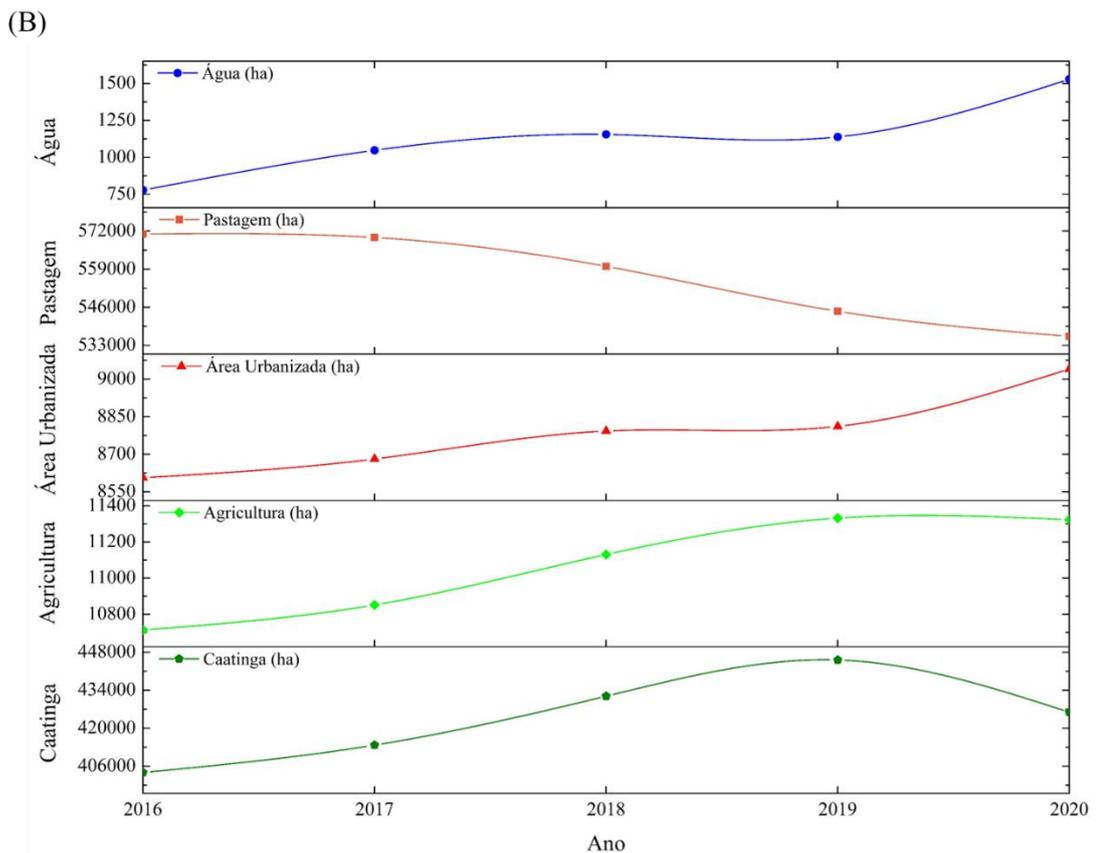
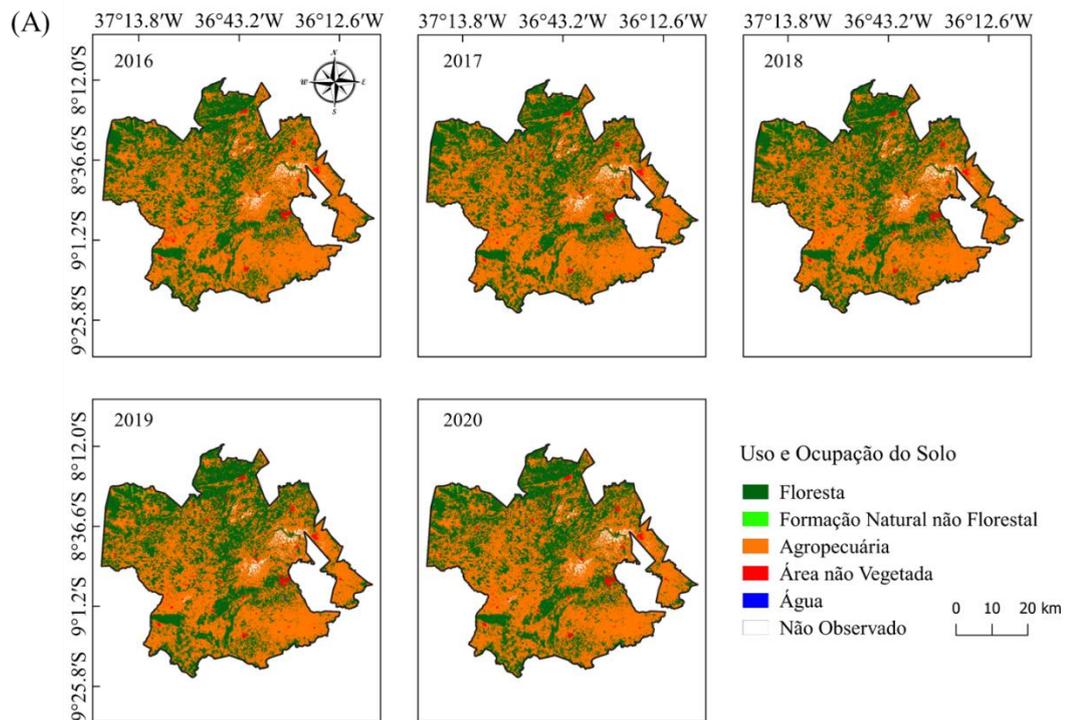


Figura 5. Uso e cobertura da terra (LULC) via dados MapBiomias Brasil para a bacia leiteira do estado de Pernambuco entre 2016-2020.

Nota: área em hectares (ha).

O crescimento dos corpos hídricos foi diretamente proporcional a área agrícola o que pode estar associado a implementação de tecnologias para fins de captação e armazenamento de água para abastecimento humano e subsídio da agricultura familiar (Figura 5B). Corroborando com os resultados deste estudo, Melo et al. (2022) mostram em seu estudo que a região que compreende a bacia leiteira do estado de Pernambuco é assistida por um programa denominado “cisterna calçadão”, o qual prevê o armazenamento de água pluvial para que as famílias das regiões semiáridas tenham acesso contínuo a água e possam dar continuidade ao cultivo agrícola.

5.3. Análise dos índices de vegetação SAVI e CVP

No período seco e chuvoso, os valores de SAVI variaram de -0.09 a 1.00 conforme mostrado na Figura 6A e 6B. No período seco o SAVI apresentou menores respostas espectrais ao longo do período de estudo, resultado da baixa precipitação da região que foi de 15 a 193 mm (Figura 4A) conforme a caracterização espacial da chuva durante o período seco, com exceção da região sul da bacia, a qual observa-se valores entre 0.56 e 0.78. Conforme o mapa da LULC (Figura 5A), observa-se que a maior parte da região sul da bacia é formada por floresta e agropecuária a qual inclui culturas agrícolas e pastagens, isso explica os altos valores de SAVI durante o tempo seco na região sul da bacia leiteira. Santiago et al. (2019) mostra em seus estudos que o aumento da densidade da cobertura vegetal avaliada por índices de vegetação, está diretamente relacionada aos fatores de processos de resiliência da vegetação da Caatinga, devido a ações de políticas públicas que permitem o controle da degradação ambiental e do uso da cobertura da terra.

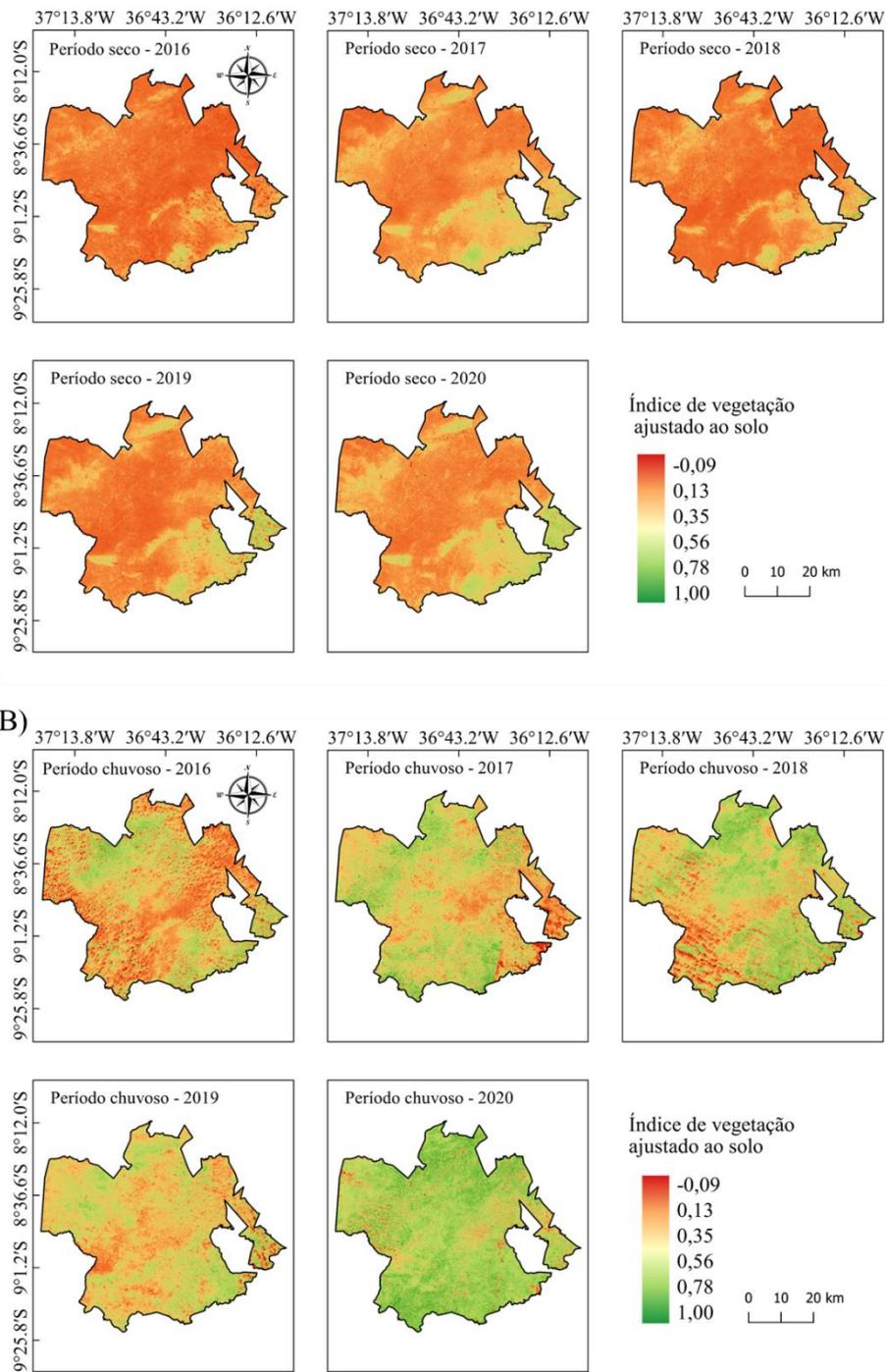


Figura 6. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) no período seco (A) e chuvoso (B) para a bacia leiteira do estado de Pernambuco entre 2016-2020.

No período chuvoso, o SAVI se expressou com alta atividade da biomassa, com valores acima de 0,78 o que pode ser atribuído a uma vegetação mais densa. No entanto, observa-se que no ano de 2016 em ambos os períodos de avaliação, alguns setores da região de estudo apresentam-se com baixa resposta espectral, com um SAVI menor que 0,35 nos setores mais

centrais da bacia leiteira, esse fenômeno pode ser decorrente da irregularidade das chuvas que ocorre na região semiárida a qual está inserida a bacia leiteira. Ainda, no período chuvoso, as regiões que mostraram um SAVI menor que 0.35 também apresentaram menores precipitações conforme os mapas pluviométricos. Sparacino et al. (2021) mostra em seus estudos que no ano de 2016 a região semiárida sofreu com uma estação seca mais prolongada o que afeta diretamente o cenário vegetativo da Caatinga. Ademais, Barbosa et al. (2019) realizou uma análise do impacto da seca no bioma da Caatinga e em seus estudos, revelaram existência de uma relação linear entre as chuvas e a vegetação do bioma.

Nos períodos secos e chuvosos os valores do CVP variaram de 0 a 100% como mostra a Figura 7A e 7B. No período seco o CVP mostrou-se com baixa resposta espectral com o índice variando de 0 a 20% na maior parte da bacia durante todo o período de estudo, com exceção do setor sudeste o qual está mais próximo ao litoral pernambucano e apresentou-se com um CVP de 60 a 100% durante o período de estudo, com exceção do ano de 2016, o qual a variação do índice foi de 0 a 60% apenas. O baixo percentual da resposta espectral ao CVP, corrobora o encontrado na análise temporal do SAVI com a associação das respostas espectrais quanto a precipitação da região de estudo. Ainda, vale ressaltar que no ano de 2016 a 2020 a grande maioria da região da bacia é composto por floresta (Caatinga) e Agropecuária Figura 5A, o baixo percentual do índice nessas regiões, indica uma baixa atividade da biomassa, resultado da intensa atividade antrópica e degradação da Caatinga.

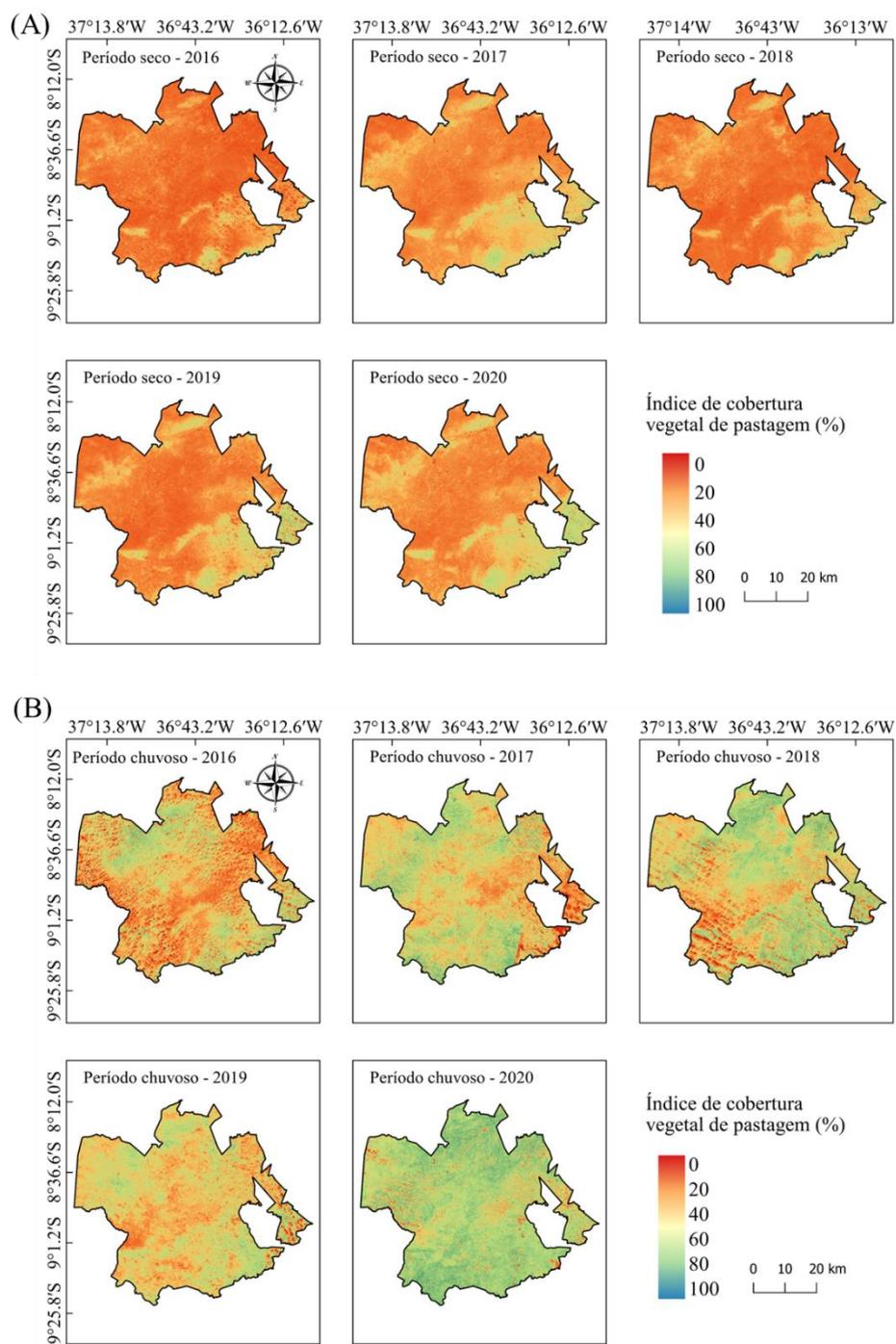


Figura 7. Índice da Cobertura Vegetal de Pastagem (CVP) no período seco (A) e chuvoso (B) para a bacia leiteira do estado de Pernambuco entre 2016-2020.

No período chuvoso de 2016 o CVP obteve baixas respostas espectrais nos setores nordeste, sudoeste e centrais da bacia, mostrando uma vegetação ainda castigada pelo período de seca que antecedeu o período.

No período chuvoso de 2017 a vegetação se apresenta de maneira resiliente nos setores norte, sul e oeste da região, resultado de maiores índices pluviométricos Figura 4. Contudo, o setor sudeste mostra uma menor atividade da biomassa, com o CVP indo de 0 a 20% e pouquíssimos pixels variando de 80 a 100% mesmo sendo um setor que faz divisa com o litoral pernambucano, mas que possui uma alta atividade agropecuária como mostra a LULC o que mostra uma intensa atividade antrópica. Jardim et al. (2022) ao estudar a dinâmica espaço temporal numa região de Caatinga de Pernambuco, com a utilização de índices de vegetação incluindo o CVP e o LULC, observou que a expansão de áreas agropecuárias demanda uma crescente produção de alimentos e produção animal o que implica em uma maior demanda de pastagens também e favorece a taxa de desmatamento do bioma da Caatinga.

O ano de 2018 (chuvoso) também apresentou uma vegetação mais densa de maneira geral, com exceção do setor noroeste ao sudeste, que a grande maioria dos pixels foram com um CVP de 0 a 20%. Em 2019 no mesmo período, observa-se uma vegetação mais densa, com menos áreas de 0 a 20% e em 2020 apresenta-se com uma alta atividade da biomassa durante todos os setores da bacia leiteira.

A tabela 2 representa a estatística descritiva dos mapas temáticos dos índices de vegetação da bacia leiteira, nos períodos seco e chuvoso. Em ambos os períodos de 2016 a 2020, o SAVI apresentou-se com alta variabilidade ($CV > 24\%$) conforme a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), com exceção do ano de 2020 no período chuvoso, o qual o CV apontou uma média variabilidade ($CV = 12-24\%$). O CVP denotou alta variabilidade durante o período chuvoso nos anos de 2016 a 2018, nos demais anos o CV foi de alta variabilidade e no intervalo de 2016 a 2018 do período seco, o CVP, se apresentou com baixa variabilidade e no ano de 2019 e 2020 o CVP possuiu uma alta variabilidade.

Tabela 2. Estatística descritiva para os mapas dos Índices de Vegetação para o período seco e chuvoso entre 2016-2020, com valores de média, mínimo, máximo, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV, %).

Satélite	Períodos	Anos	Médias	Mínimos	Máximos	DP	CV
			SAVI				
Landsat 8/OLI	Seco	2016	0,23	-0,23	0,83	0,07	32,64
		2017	0,29	-0,39	1,18	0,09	30,45
		2018	0,24	-0,30	0,81	0,08	32,26
		2019	0,28	-0,29	1,13	0,10	36,03
		2020	0,31	-0,34	1,10	0,10	33,58
	Chuvoso	2016	0,37	-0,29	1,49	0,15	41,89

	2017	0,44	-0,38	1,23	0,14	31,98
	2018	0,46	-0,37	1,49	0,15	33,82
	2019	0,42	-0,31	1,39	0,12	28,32
	2020	0,57	-0,36	1,26	0,12	21,67
CVP (%)						
Seco	2016	28,99	-13,15	84,75	6,77	23,36
	2017	35,19	-27,63	100,00	8,20	23,31
	2018	30,73	-19,02	82,24	7,25	23,60
	2019	33,59	-18,02	100,00	9,13	27,18
	2020	36,50	-23,24	100,00	9,49	25,99
Chuvoso	2016	41,86	-18,61	100,00	14,08	33,64
	2017	48,83	-26,57	100,00	12,98	26,58
	2018	50,26	-25,82	100,00	14,21	28,27
	2019	46,37	-20,30	100,00	10,80	23,28
	2020	60,45	-25,04	100,00	11,32	18,72

A alta variabilidade dos dados apresentados nesse caso, é explicada pela interferência das nuvens, o amplo uso e cobertura do solo da região e a dinâmica da precipitação pluvial, pois fatores citados possuem a capacidade de interferir na resposta espectral dos índices. Corroborando os achados de Swoish et al. (2022) os quais mostram que imagens provenientes do Landsat- 8/OLI possuem um bom desempenho para ser usado para fins de detecção da cobertura vegetal, mas que as nuvens podem interferir nesse desempenho, contudo, ao fazer um comparativo entre os índices de vegetação oriundos de imagens de satélite e sensores de campo para estimar a cobertura vegetal de campos agrícolas, foi observado que os índices de vegetação foram melhores preditores de biomassa em larga escala do que os valores de sensores de campo.

Resultados semelhantes podemos observar nos estudos realizados por Rodrigues et al. (2020) que ao estudar dinâmica espaço-temporal da região de pesqueira, localizada no semiárido pernambucano, destacou que o CV dos índices de vegetação variou de média a alta variabilidade e mostrou que essa variabilidade se dá devido ao diversificado usos e ocupações do solo na região, como áreas de atividade agropecuária, setores com vegetação da Caatinga rala e densa além de áreas degradadas e de solo exposto. Ao avaliar a estatística descritiva dos índices, observou-se que o CVP se mostrou mais homogêneo que os demais, ainda que para formulação do CVP, utilizou-se as imagens do SAVI e mesmo o índice apresentando-se de média a alta variabilidade, isso não interfere na confiabilidade do índice.

5.4. Frequência de fogo e áreas queimadas via MapBiomas Fogo

A Figura 8 corresponde a frequência de fogo nos anos de 2016 a 2020 da região de estudo que variou de 0,00 a 97,59 ha. No setor Norte, no município de Pesqueira e redondezas, é possível observar temporalmente um crescimento de áreas queimadas que foram de 24,40 a 97,59 ha nos anos de 2016 a 2020, com ênfase no ano de 2016 o qual observa-se uma maior área exposta ao fogo que os demais anos nesse setor. Isso se dá ao crescimento de atividades antrópicas na região e usos múltiplos da terra, na figura 5A observa-se a mudança temporal do LULC, em que a atividade agropecuária e áreas não vegetadas crescem espacialmente no setor norte, onde encontra-se o município de Pesqueira. O mesmo foi encontrado por Rodrigues et al. (2020) que ao realizarem uma análise espaço-temporal no município de Pesqueira, destacou os diversos usos e ocupação do solo na região, como setores de atividades agropecuárias, áreas de vegetação da Caatinga rala e densa além de áreas degradadas e solo exposto.

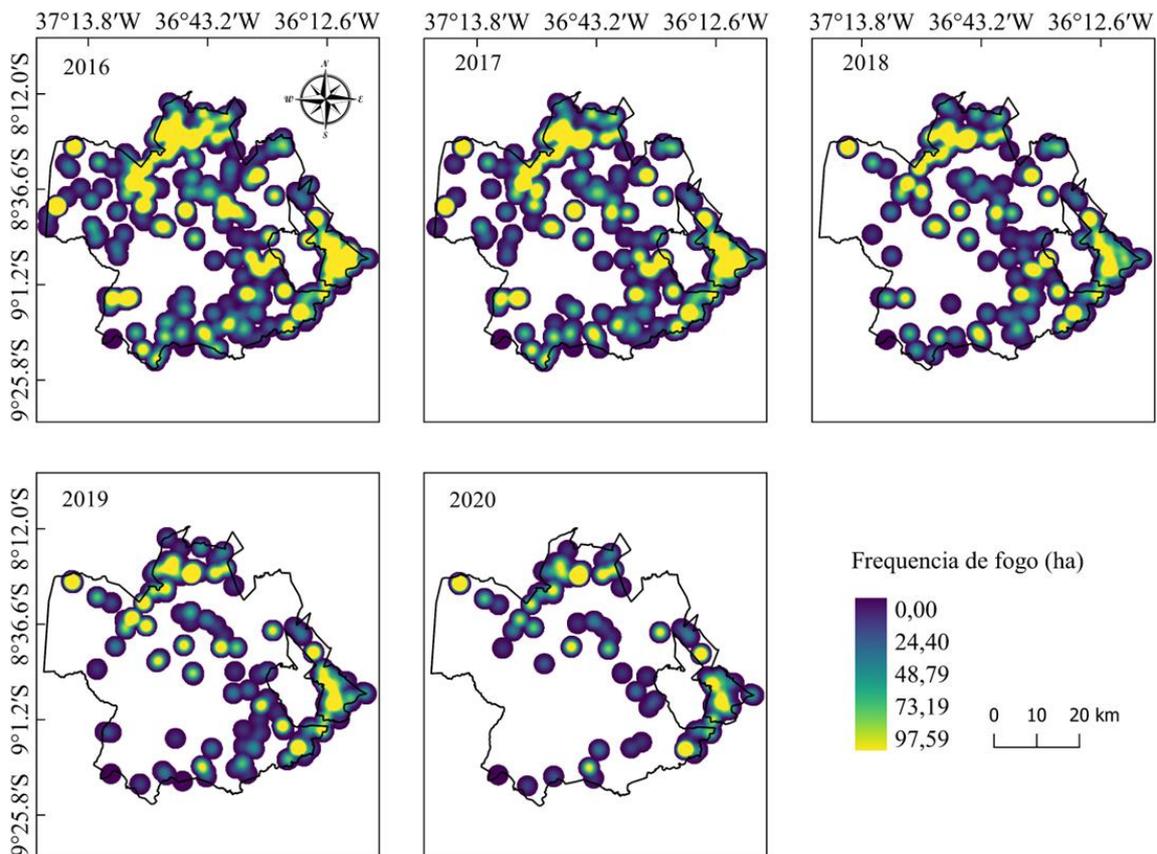


Figura 8. Frequência de Fogo via dados MapBiomas Brasil para a bacia leiteira do estado de Pernambuco entre 2016-2020.

Nota: área em hectares (ha).

No setor sudeste da bacia nos municípios de Canhotinho, Garanhuns e regiões próximas, verifica-se uma maior frequência de fogo ao longo do estudo, variando de 24,40 a 97,59 ha na maior parte do setor, com ênfase nos anos de 2016 e 2017. Esse feito não está relacionado a chuva visto que se trata de uma região com altas precipitações em ambos os períodos (seco e chuvoso) como exposto na Figura 4 e sim devido a atividade agropecuária que é predominante no setor e crescente durante os anos de 2016 a 2020 Figura 5A. Entretanto, observa-se uma redução da frequência de fogo no setor sudeste nos anos de 2019 a 2020 principalmente, corroborando com o crescimento do SAVI com a maior parte dos pixels variando de 0,56 a 1, nos anos citados em ambos os períodos de estudo como mostrado na Figura 6.

Destaca-se também o setor sudoeste da região possui uma crescente área de floresta de 2016 a 2020 (Caatinga) conforme o LULC, o que explica a redução temporal da frequência de fogo, indo de 97,59 ha para áreas menores que 24,40 ha. Também, verifica-se um SAVI entre 0,56 e 1,00 na maioria da área correspondente ao setor sudoeste. No entanto, observa-se também um declínio da caatinga em função do crescimento da agropecuária para o ano de 2020 (Figura 5B) o que resultará em aumento da frequência de fogo nos próximos anos e conseqüentemente uma redução da atividade da biomassa tornando a área susceptível a degradação. Corroborando Oliveira-Júnior et al. (2022) que ao realizarem uma análise espaço-temporal de focos de fogo e a degradação ambiental nos biomas pertencentes ao NEB, observaram que o fogo está diretamente associado às mudanças de uso e cobertura do solo como por exemplo, áreas não vegetadas e com consórcios agrícolas.

6. CONCLUSÕES

A análise dos produtos CHIRPS foi eficiente para a caracterização espaço-temporal da chuva na bacia leiteira durante todo o período de estudo e entender a dinâmica da precipitação. Com a análise dos índices de vegetação processadas na *Google Earth Engine*, foi possível analisar espacialmente a degradação da bacia leiteira do estado de Pernambuco e do bioma da Caatinga. Além disso, com os produtos de áreas queimadas e caracterização do uso e ocupação da terra via MapBiomas, foi possível avaliar os cenários de frequência de fogo e áreas queimadas na bacia leiteira no Estado e identificar as regiões mais afetadas, assim como os impactos ocorridos no LULC. Diante do exposto, com a análise da dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal por meio dos índices de vegetação SAVI e CVP associados ao LULC e áreas queimadas foi possível caracterizar a expansão da bovinocultura na bacia leiteira, para possibilitar a dinâmica da logística, gerenciamento e auxílio aos produtores da região de estudo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTHOFF, T. D.; MENEZES, R. S. C.; CARVALHO, A. L.; SIQUEIRA PINTO, A.; SANTIAGO, G. A. C. F.; OMETTO, J. P. H. B.; VON RANDOW, C.; SAMPAIO, E. V. D. S. B. Climate change impacts on the sustainability of the firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical dry forest in Santa Teresinha Municipality, Northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 360, p. 367-375, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2015.10.001>,
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- BDE. Banco de dados estadual, 2020. Vacas ordenhadas e produção de leite. Disponível em: <http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=474&Cod=3>. Acesso em: 23 de out. de 2021.
- BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E. F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific data**, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- BURNEY, J.; CESANO, D.; RUSSELL, J.; LA ROVERE, E. L.; CORRAL, T.; COELHO, N. S.; SANTOS, L. Climate change adaptation strategies for smallholder farmers in the Brazilian Sertão. **Climatic change**, v. 126, n. 1, p. 45-59, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1186-0>
- FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e a Agricultura, 2022. Disponível em: <<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1116677/>>. Acesso em: 27 de jan. de 2022.
- FERNANDES, M. M.; MOURA FERNANDES, M. R.; GARCIA, J. R.; MATRICARDI, E. A. T.; ALMEIDA, A. Q.; PINTO, A. S.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, A. J.; SOUZA LIMA,

- A. H. Assessment of land use and land cover changes and valuation of carbon stocks in the Sergipe semiarid region, Brazil: 1992–2030. **Land use policy**, v. 99, p. 104795, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104795>
- GAO, Q.; WAN, Y.; LIN, E.; XIONG, W.; JIANGCUN, W.; WANG, B.; LI, W. Grassland degradation in Northern Tibet based on remote sensing data. **Journal of Geographical Sciences**, v. 16, n. 2, p. 165-173, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11442-006-0204-1>
- GORI MAIA, A.; SILVEIRA, R. L. F. D.; VENEIO CAMPOS FONSECA, C.; BURNEY, J.; CESANO, D. Climate resilience programmes and technical efficiency: evidence from the smallholder dairy farmers in the Brazilian semi-arid region. **Climate and Development**, p. 1-11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/17565529.2021.1904812>
- HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote sensing of environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. Bovino/Efetivo do rebanho. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/pesquisa/18/16459> >. Acesso em: 05 de out. de 2021.
- INMET. Normais climatológicas do Brasil, 2010. Disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/normais> >. Acesso em: 16 de nov. de 2021.
- INSA. Instituto Nacional do Semiárido, 2022. O Semiárido brasileiro. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/rede-mcti/insa/semiario-brasileiro#:~:text=O%20feij%C3%A3o%20e%20a%20mandioca,se%20na%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20feij%C3%A3o>>. Acesso em: 27 de jan. de 2022.
- IPA. Instituto Agronômico de Pernambuco, 2022. A Agropecuária brasileira versus a pandemia do Novo Coronavírus. Disponível em: << <http://www.ipa.br/novo/noticia?n=2248>>>. Acesso em: 27 de jan. de 2022.
- KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, n. 3, p. 187-200, 1958. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02289233>

- KUMARI, N.; SRIVASTAVA, A.; DUMKA, U. C. A long-term spatiotemporal analysis of vegetation greenness over the Himalayan Region using Google Earth Engine. **Climate**, v. 9, n. 7, p. 109, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli9070109>
- MapBiomass Brasil. *PLATAFORMA DE MAPAS E DADOS*. Disponível em: < <https://mapbiomas.org/> >. Acesso em: 01 de out. de 2021.
- MapBiomass Fogo. 2021. *PLATAFORMA DE MAPAS E DADOS*. Disponível em: < <https://mapbiomas.org/metodo-mapbiomas-fogo> >. Acesso em: 02 de out. de 2021.
- MARENGO, J. A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 1973-1985, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>
- MELO, M. V. N.; OLIVEIRA, M. E. G.; ALMEIDA, G. L. P.; GOMES, N. F.; MORALES, K. R. M.; SANTANA, T. C.; SILVA, P. C.; MORAES, A. S.; PANDORFI, H.; SILVA, M. V. Spatiotemporal characterization of land cover and degradation in the Agreste region of Pernambuco, Brazil, using cloud geoprocessing on Google Earth Engine. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 26, p. 100756, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100756>
- MMA. Ministério do Meio Ambiente, 2022. Caatinga. Disponível em: < <https://antigo.mma.gov.br/biomass/caatinga> >. Acesso em: 07 de fev. de 2022.
- OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; MENDES, D.; CORREIA FILHO, W. L. F.; SILVA JUNIOR, C. A.; GOIS, G.; JARDIM, A. M. D. R. F.; SILVA, M. V.; LYRA, G. B.; TEODORO, P. E.; PIMENTEL, L. C. G.; LIMA, M.; SANTIAGO, D. B.; ROGÉRIO, J. P.; MARINHO, A. A. R. Fire foci in South America: Impact and causes, fire hazard and future scenarios. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 112, p. 103623, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103623>
- PINHEIRO, A. R. E.; METSELAAR, K.; LIER, J. V. Q.; ARAÚJO, J. C. Importance of soil-water to the Caatinga biome, Brazil. **Ecohydrology**, v. 9, n. 7, p. 1313-1327, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/eco.1728>

PIVELLO, V. R.; VIEIRA, I.; CHRISTIANINI, A. V.; RIBEIRO, D. B.; SILVA MENEZES, L.; BERLINCK, C. N.; MELO, F. P. L.; MARENGO, J. A.; TORNQUIST, C. G.; TOMAS, W. M.; OVERBECK, G. E. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 3, p. 233-255, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.06.005>

QGIS. QUANTUM GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM, 2019. Quantum GIS Geographic Information System. 3.12. Open Source Geospatial Foundation Project

QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; JARDIM, A. M. D. R. F.; SOUZA, C. A. A.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; MORAIS, J. E. F.; SOUZA, L. S. B. Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semi-arid region of Brazil. **Catena**, v. 188, p. 104457, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104457>

RICARDO, S. D. F.; COE, H. H. G.; DIAS, R. R.; SOUSA, L. D. O. F.; GOMES, E. Reference collection of plant phytoliths from the Caatinga biome, Northeast Brazil. **Flora**, v. 249, p. 1-8, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2018.09.003>

ROCHA, D. T.; CARVALHO, G. R.; RESENDE, J. C. Cadeia produtiva do leite no Brasil: produção primária. **Embrapa Gado de Leite-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2020.

SANTOS, C. A. G.; NASCIMENTO, T. V. M.; SILVA, R. M.. Analysis of forest cover changes and trends in the Brazilian semiarid region between 2000 and 2018. **Environmental Earth Sciences**, v. 79, n. 18, p. 1-20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09158-1>

SILVA, J. L. B.; ALBUQUERQUE MOURA, G. B.; SILVA, M. V.; LOPES, P. M. O.; SOUZA GUEDES, R. V.; SILVA, Ê. F. D. F.; ORTIZ, P. F. S.; MORAES RODRIGUES, J. A. Changes in the water resources, soil use and spatial dynamics of Caatinga vegetation cover over semiarid region of the Brazilian Northeast. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 20, p. 100372, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100372>

SILVA, J. L. B.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O.; SILVA, E. F. F.; ORTIZ, P. F. S.; SILVA, D. A. O.; SILVA, M. V.; GUEDES, R. V. S. Spatial-temporal monitoring of the

risk of environmental degradation and desertification by remote sensing in a Brazilian semiarid region. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 02, p. 544-563, 2020c.

DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p544-563>

SILVA, M. V.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; LIMA, R. P.; SANTOS, A.; JARDIM, A. M. R. F.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. L. B.; BATISTA, P. H. D.; SILVA, R. A. B.; LOPES, P. M. O.; SILVA, D. C. Spatio-temporal monitoring of soil and plant indicators under forage cactus cultivation by geoprocessing in Brazilian semi-arid region. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 107, p. 103155, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103155>

SILVA, M. V.; PANDORFI, H.; LOPES, P. M. O.; SILVA, J. L. B.; ALMEIDA, G. L. P.; OLIVEIRA SILVA, D. A.; SANTOS, A.; MORAES RODRIGUES, J. A.; BATISTA, P. H. D.; JARDIM, A. M. D. R. F. Pilot monitoring of caatinga spatial-temporal dynamics through the action of agriculture and livestock in the brazilian semiarid. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 19, p. 100353, 2020a. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100353>

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. **Application of soil physics.**, p. 319-344, 1980.

ASSINATURA DO ORIENTADOR

Aluna: Maria Vitória Neves de Melo

Orientador: Gledson Luiz Pontes de Almeida

Recife, 07 de janeiro de 2023