



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – ICAT**



CLÁUDIA ROSANE FARIAS DOS SANTOS

**ANÁLISE PRELIMINAR DO POTENCIAL AGRÍCOLA DA REGIÃO SEMIÁRIDA
ALAGOANA**

**MACEIÓ, AL
2024**

Cláudia Rosane Farias dos Santos

**ANÁLISE PRELIMINAR DO POTENCIAL AGRÍCOLA DA REGIÃO SEMIÁRIDA
ALAGOANA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Meteorologia pelo Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ferreira Carlos Amorim

Co-orientador: Dr. Leandro Rodrigo Macedo da Silva

MACEIÓ, AL
2024

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

S237a Santos, Cláudia Rosane Farias dos.
Análise preliminar do potencial agrícola da região semiárida alagoana /
Cláudia Rosane Farias dos Santos. – 2024.
57 f. : il. color.

Orientador: Ricardo Ferreira Carlos Amorim.
Coorientador: Leandro Rodrigo Macedo da Silva.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) –
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas.
Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 53-57.

1. Zoneamento agroecológico. 2. Degradação do solo. 3. Potencial agrícola – Semiárido – Alagoas. I. Título.

CDU: 551.5 : 631.95 (813.5)

Folha de aprovação

CLAUDIA ROSANE FARIAS DOS SANTOS

ANÁLISE PRELIMINAR DO POTENCIAL AGRÍCOLA DA REGIÃO SEMIÁRIDA ALAGOANA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Atmosféricas - ICAT da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia, aprovado em 16 de 02 de 2024.

Documento assinado digitalmente
 RICARDO FERREIRA CARLOS DE AMORIM
Data: 22/02/2024 19:47:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ricardo Ferreira Carlos Amorim(Orientador)

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 LEANDRO RODRIGO MACEDO DA SILVA
Data: 22/02/2024 15:52:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Leandro Rodrigo Macedo da Silva (Coorientador)

Documento assinado digitalmente
 MARIA LUCIENE DIAS DE MELO
Data: 23/02/2024 14:34:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Maria Luciene Dias de Melo

Documento assinado digitalmente
 LUIZ EDUARDO DOS SANTOS COSTA
Data: 23/02/2024 09:58:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Msc. Luiz Eduardo dos Santos Costa

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu avô Gerônimo Gomes de Farias (*in memoriam*), que faz muita falta, mas tenho certeza de que estaria feliz por esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por ser minha força e jamais me deixar desistir.

Ao meu orientador Humberto Alves Barbosa, pelo apoio e Orientação que me ofereceu nos meus anos de graduação.

Ao meu querido professor e orientador Ricardo Ferreira Carlos Amorim, pelos preciosos conselhos, orientação e por não me deixar desistir quando eu não queria mais tentar.

Ao meu coorientador Leandro Rodrigo Macedo da Silva pelos conselhos, orientação e paciência que teve comigo, sem os quais seria imensamente difícil.

Agradeço a professora Luciene por todos os ensinamentos e paciência.

Ao Luiz Eduardo pela paciência e disposição em ajudar quando necessário.

Aos meus pais e avós pelo auxílio dado em todos os meus anos de estudos.

Ao meu namorado João André por todo apoio e incentivo oferecidos nos últimos 3 anos.

Aos meus colegas de Trabalho do LAPIS pela ajuda profissional, pessoal e todo o conhecimento que me foi oferecido.

A minha amiga Aline, pela disposição e dedicação em me ajudar sempre que precisei.

A minha amiga Jaíne Ribeiro por sempre estar presente nos melhores e piores momentos dos últimos 10 anos e não poupar esforços para me ajudar quando necessário.

Aos meus amigos, Emerson, Ingrid, Joelke e Thiago por todos os anos de amizade.

Queria agradecer também a Ariel por nunca me deixar sozinha nos momentos complicados.

A todos, obrigada.

“Sonhe, ainda que o começo seja humilde, o futuro será próspero.”

So far Away – AGUST D.

RESUMO

O Censo do IBGE 2017 mostrou que mais de 75% das atividades agrícolas no semiárido brasileiro estão relacionadas à agricultura familiar, portanto, sistemas de monitoramento são essenciais para entender o padrão geral de distribuição do tempo de uso e mudanças na cobertura vegetal, precipitação e condições do solo. O zoneamento agroecológico é uma ferramenta técnica científica baseada na compreensão do potencial ambiental e da vulnerabilidade de uma área específica, em particular o comportamento e as características do clima, dos solos, da vegetação, da geomorfologia, com ênfase na aptidão das terras agrícolas. Em março de 2005, o Ministério da Integração Nacional (MI) definiu 38 municípios em algum estágio de degradação ambiental. Essa metodologia teve como objetivo avaliar o potencial agrícola da região semiárida de Alagoas, a partir de uma série temporal de imagens de satélite, analisando variáveis agrometeorológicas. Analisando a média interanual de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) é possível notar que o médio e alto sertão apresentam, quase que em sua totalidade, valores inferiores a 0,5, com exceção apenas de algumas áreas que apresentaram valores mais elevados, entre 0,5 e 0,7, como pode ser observado nos municípios de mata Grande. De acordo com a classificação de Köppen, as chuvas no semiárido alagoano variam entre 250 mm e 750 mm por ano, o que pode ser observado na média interanual da distribuição espacial da precipitação. Ao analisar a média interanual de umidade do solo, é possível notar que os menores valores de água retida no solo foram encontrados na região do Sertão Alagoano. Seja vegetação nativa ou plantações, a precipitação e umidade do solo influenciam fortemente na saúde da vegetação. É possível observar que as áreas onde são observados os menores valores de NDVI estão associados ao baixo volume de precipitação pluvial e baixa quantidade de água retida no solo, o que indica a forte influência do clima na resposta obtida da vegetação. Os resultados obtidos mostraram-se satisfatórios, evidenciando a escassez de água no semiárido, o que resultou na resposta da vegetação.

Palavras-Chaves: Zoneamento agroecológico, Degradação Ambiental, Semiárido alagoano.

ABSTRACT

The 2017 IBGE Census showed that more than 75% of agricultural activities in the Brazilian semi-arid region are related to family farming, therefore, monitoring systems are essential to understand the general distribution pattern of time of use and changes in vegetation cover, precipitation and conditions from soil. Agroecological zoning is a scientific technical tool based on understanding the environmental potential and vulnerability of a specific area, in particular the behavior and characteristics of climate, soil, vegetation, geomorphology, with an emphasis on the suitability of agricultural land. In March 2005, the Ministry of National Integration (MI) defined 38 municipalities as being at some stage of environmental degradation. This methodology aimed to evaluate the agricultural potential of the semi-arid region of Alagoas, based on a time series of satellite images, analyzing agrometeorological variables. Analyzing the interannual average of NDVI, it is possible to note that the medium and high hinterlands present, almost in their entirety, values below 0.5, with the exception of only a few areas that presented higher values, between 0.5 and 0.7, as can be seen in the municipality of Mata Grande. According to Koppen's classification, rainfall in the semi-arid region of Alagoas varies between 250 mm and 750 mm per year, which can be observed in the interannual average of the spatial distribution of precipitation. When analyzing the interannual average of soil moisture, it is possible to notice that the lowest values of water retained in the soil were found in the Sertão Alagoano region. Whether native vegetation or plantations, precipitation and soil moisture strongly influence the health of vegetation. It is possible to observe that the areas where the lowest NDVI values are observed are associated with a low volume of rainfall and a low amount of water retained in the soil, which indicates the strong influence of climate on the response obtained from vegetation. The results obtained were satisfactory, highlighting the scarcity of water in the semi-arid region, which resulted in the response of the vegetation.

Key-words: Agroecological zoning, Environmental Degradation, Alagoas semiarid.

ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localização do Semiárido Alagoano no espaço geográfico brasileiro em 2021.	32
Figura 2. Precipitação pluviométrica média anual para o Estado de Alagoas.	33
Figura 3. Divisão das mesorregiões do semiárido alagoano.	34
Figura 4. Condição da vegetação de acordo com os valores de NDVI.	35
Figura 5. Resumo das etapas aplicadas na metodologia.	38
Figura 6. Como interpretar o NDVI.	39
Figura 7. Média interanual de NDVI para o período de 1999 a 2020.	42
Figura 8. Variação do Comportamento do NDVI para o período de 1999-2020.	44
Figura 9. Distribuição espacial da precipitação pluviométrica, média para o período de 1999 a 2020.	45
Figura 10. Variação temporal da precipitação pluviométrica para o período de 1982-2020.	46
Figura 11. Média interanual de umidade do solo para o período de 1999 a 2020. ...	47
Figura 12. Variação da umidade do solo para o período de 1999-2020.	48
Figura 13. Relação do NDVI com a precipitação pluviométrica com a umidade do solo.	49
Figura 14. Potencial Agroecológico do Estado de Alagoas.	50

ÍNDICE DE QUADROS

	pág.
Quadro 1. Resumo das principais causas e indicadores de desertificação em três escalas espaciais diferentes.....	28

ÍNDICE DE TABELAS

	pág.
Tabela 1. Valores máximos e mínimos de NDVI obtidos a partir da Média interanual para o período de 1999 a 2020.	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD	Água disponível no solo
AMS	American Meteorological Society
CAD	Capacidade de água disponível
CHG	Climate Hazards Group
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nation
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
UNCCD	<i>A United Nations Convention to Combat Desertification</i>
USCG	United State Geological Survey
WMO	World Meteorological Organization
ZAAL	Zoneamento Agroecológico de Alagoas
ZAE	Zoneamento Agroecológico

SUMÁRIO

	pág.
1	INTRODUÇÃO..... 16
2	OBJETIVOS 19
2.1	Objetivos Geral 19
2.2	Objetivos Específicos 19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 20
3.1	Agroecologia 20
3.2	Zoneamento agroecológico 20
3.3	Degradação do solo 21
3.3.1	Uso inadequado de terras 22
3.3.2	Desmatamento 22
3.4	Mudanças climáticas 22
3.4.1	Mudanças climáticas e Agricultura 23
3.5	Agricultura em terras áridas 23
3.6	Agricultura no semiárido brasileiro 24
3.7	Índices e Indicadores 24
3.7.1	Precipitação Pluviométrica 25
3.7.2	Umidade do solo 25
3.7.3	Índice de vegetação 26
3.7.4	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) 26
3.8	Desertificação 26
3.9	Terraclimate 28
3.10	Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS) 29
3.11	O sistema VEGETATION 29
4	MATERIAIS E MÉTODOS 31
4.1	Materiais 31
4.1.1	Caracterização da Área de Estudo 31
4.1.2	Dados de vegetação 34
4.1.3	Dados de precipitação Pluviométrica 36
4.1.4	Dados de umidade do solo 36
4.1.5	Programas computacionais R e QGIS 37
4.2	Métodos 38
4.2.1	Fluxograma metodológico 38

4.2.2	Análise da vegetação	39
4.2.3	Análise da precipitação	39
4.2.4	Análise da umidade do solo	40
4.2.5	Análise condição agroclimática para suporte ao zoneamento agroecológico	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
5.1	Análise da vegetação	41
5.2	Análise da precipitação	44
5.3	Análise da umidade do solo	46
5.4	Análise condição agroclimática para suporte ao zoneamento agroecológico	48
6	CONCLUSÕES.....	51
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, durante a safra 1996/1997, começou a operacionalizar o zoneamento agrícola brasileiro e a publicar anualmente um calendário de épocas de semeadura de culturas de interesse social e econômico. Em 1997, o Banco Central do Brasil publicou regulamentação vinculando a concessão de financiamentos e créditos de seguros à implementação do zoneamento (Resolução nº 2.403 de 25 de junho de 1997 e Resolução nº 2.427 de 1º de outubro de 1997), o que ajudou a reduzir em aproximadamente US\$ 150 milhões as perdas de produção a cada ano devido a eventos climáticos de alto impacto, solicitações e custos fraudulentos. Atualmente, são abrangidas aproximadamente 40 culturas. O zoneamento agroecológico das culturas de cana-de-açúcar e dendê (dendê) foi desenvolvido com o objetivo de atender às exigências do governo federal expressas em forma de decretos (Embrapa, 2023).

O Zoneamento agroecológico - ZAE Cana-de-Açúcar foi lançado em setembro de 2009 com o objetivo de expandir e produzir de forma sustentável a cultura no território brasileiro, a partir da demarcação de terras potenciais para cultivo ampliado, preferencialmente já ocupado por pastagens, principalmente para produção de etanol e açúcar. Em maio de 2010 o ZAE da palma de óleo foi lançado com seu principal objetivo sendo orientar a expansão da produção brasileira da cultura, em base técnico-científica, de forma a garantir a sustentabilidade em seus aspectos econômicos, sociais e ambientais nas áreas cujas características originais foram alteradas dos seguintes estados: Acre, Amazonas, Amapá, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Alagoas, Bahia, Espírito Santo, Pernambuco, Rio de Janeiro e Sergipe (EMBRAPA, 2023).

Segundo Ferraz (2003). Desde a década de 1980, a agricultura brasileira, antes centrada no agricultor, passou por uma série de mudanças que tiveram grande impacto no modo de vida dos agricultores. Nesse período, iniciou-se em vários países um processo de “modernização” agrícola conhecido como Revolução Verde. A Revolução Verde, utilizando um modelo industrialmente produtivo, acelerou a degradação ambiental e social nas áreas rurais para níveis insustentáveis.

A agroecologia surgiu na América Latina no final da década de 1970 em resposta à crise ecológica e social nas áreas rurais resultante do aumento do desenvolvimento capitalista na agricultura (Guzmán, 2015).

A agroecologia nos oferece a oportunidade de redefinir o uso e a gestão dos recursos naturais, aumentar a inclusão social, reduzir os danos ambientais e fortalecer a segurança alimentar e nutricional para garantir alimentos saudáveis e de qualidade para todos os brasileiros (Caporal, 2008 apud Rosa et al, 2018).

Em 2014, a Embrapa lançou o Zoneamento Agroecológico de Alagoas (ZAAL) baseado em informações climáticas e pesquisas de solo na escala 1:100.000, com o objetivo de fornecer aos gestores e tomadores de decisão informações sobre os recursos naturais. interesses do estado, permitindo assim o planejamento sustentável e o uso da terra a partir de uma perspectiva estadual o Zoneamento Agroecológico de Alagoas (ZAAL) é uma ferramenta de planejamento de políticas públicas para o estado de Alagoas, desenvolvida pela empresa brasileira de pesquisa agropecuária (Embrapa), em conjunto com outras instituições. Foram produzidas informações sobre o potencial produtivo e vulnerabilidade da terra: potencial do solo, adequação climática das culturas e potencial climático do solo, potencial agroecológico da terra e potencial da terra irrigada. Além do mapeamento do solo e da interpretação do potencial solo e climático, foi realizado um estudo de uso e cobertura vegetal em todo o estado (EMBRAPA, 2014).

Recentemente, os estudos feitos por Silva (2023) utilizando índices de solo, vegetação e precipitação, mostraram um alto nível de vulnerabilidade, que indicam um aumento de áreas suscetíveis a de desertificação no Sertão e principalmente no agreste do Semiárido alagoano e que mostra uma forte influência da agricultura nesta região.

Costa et al. (2020) realizaram estudos utilizando índices padronizados de vegetação, precipitação e solo. Os resultados também identificaram áreas degradadas que apresentam alta suscetibilidade à desertificação no semiárido alagoano.

A terra seca é uma fonte de sustento para a maioria da população que vive em áreas semiáridas. O Censo do IBGE 2017 mostrou que mais de 75% das atividades agrícolas no semiárido brasileiro estão relacionadas à agricultura familiar, portanto, sistemas de monitoramento são essenciais para entender o padrão geral de distribuição do tempo de uso e mudanças na cobertura vegetal, precipitação e condições do solo (IBGE, 2017; Barbosa, 1998).

A aridez e a consequente desertificação estão intimamente relacionadas com a história das regiões semiáridas no Brasil, relacionadas às necessidades de sobrevivência das populações semiáridas e às diferentes características de clima,

vegetação e solo, causando uma série de perdas ambientais, sociais e econômicas. (Buriti, Barbosa, 2018; Embrapa, 2009).

Com base nesses estudos e informações é possível observar a importância de identificar áreas com aptidão agrícola no semiárido alagoano para possíveis subsídios de trabalhos futuros e auxiliar na tomada de decisão de gestores públicos, a fim de alcançar uma agricultura sustentável.

A principal motivação para pesquisa foi a falta de informações sobre a aptidão agrícola para a área de estudo e a necessidade pública de tais informações, além da experiência de trabalho com dados ambientais de satélites.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Geral

Avaliar o potencial agrícola da região semiárida de Alagoas, analisando variáveis agrometeorológicas através de dados de sensoriamento remoto. Com isso, fornecer suporte para o zoneamento das áreas com melhores condições ambientais para o desenvolvimento da agricultura da região.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ **COLETAR E PROCESSAR** dados das variáveis agroclimáticas (vegetação, umidade do solo, precipitação);
- ✓ **ANALISAR** as condições das variáveis agroclimáticas, a fim de encontrar áreas de limiares críticos que oferecem risco a agricultura de acordo com referências descritas na literatura;
- ✓ **CRIAR** mapas temáticos da condição agroclimática para suporte ao zoneamento agrícola da região.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Agroecologia

De acordo com a Food and Agriculture Organization of the United Nation - FAO (2023), a agroecologia é uma abordagem holística e integrada que aplica simultaneamente conceitos e princípios ecológicos e sociais à concepção e gestão de sistemas agrícolas e alimentares sustentáveis.

Segundo a Associação Brasileira de Agroecologia – ABA (2016), a agroecologia é uma ciência, movimento político e prática social que proporciona abordagens científicas, teóricas, práticas e metodológicas que representam diversos campos do conhecimento de forma interdisciplinar e sistemática destinado a apoiar a transição dos atuais modelos de desenvolvimento rural e de agricultura convencionais para modelos sustentáveis.

3.2 Zoneamento agroecológico

A principal ferramenta do planejamento ambiental é o zoneamento. Zoneamento significa separar em áreas. O objetivo do zoneamento é dividir o todo com base em características ou atributos que identificam áreas semelhantes, para as quais podem ser desenvolvidos diagnósticos representativos e com base nesses diagnósticos os impactos e relações que servem ao planejamento relevante podem ser determinados de forma científica (Silva & Santos, 2004).

De acordo com os padrões da FAO, o zoneamento agroecológico define áreas com base nas combinações de solo, relevo e características climáticas. Os parâmetros específicos utilizados na definição centram-se nas condições climáticas e de solo propícias ao crescimento e produção das culturas, bem como no sistema de gestão para o crescimento das culturas.

Cada uma das zonas tem uma combinação semelhante de limitações e potenciais para o uso das terras e serve como ponto de referência para as recomendações delineadas para o melhoramento de uma situação já existente, seja aprimorando a produção ou limitando a degradação dos recursos naturais (FAO, 1997; Silva & Santos, 2004).

O zoneamento agroecológico é uma ferramenta técnica científica baseada na compreensão do potencial ambiental e da vulnerabilidade de uma área específica, em

particular o comportamento e as características do clima, dos solos, da vegetação, da geomorfologia, com ênfase na aptidão das terras agrícolas. (Embrapa, 2023).

Existem diversas abordagens para o zoneamento agroecológico (ZAE), dependendo dos seus objetivos principais. Podem ser regionalizados ou específicos de uma determinada cultura ou grupo de culturas.

O zoneamento agroecológico tem papel fundamental como ferramenta de apoio às políticas públicas e à tomada de decisões de todos os atores do agronegócio, promovendo o uso e ocupação de terras agrícolas com foco em:

- Sustentabilidade;
- Preservação dos recursos naturais;
- Redução dos riscos ambientais e socioeconômicos referentes à atividade agrícola;
- Aumento da produção, produtividade agrícola e oferta de alimentos.

A função do ZAE como ferramenta de ordenamento do território da produção agrícola é delinear zonas agroecológicas, que são áreas homogêneas ou unidades ambientais, ou mesmo unidades básicas de trabalho da agricultura (FAO, 1997).

3.3 Degradação do solo

A degradação do solo é um processo no qual a qualidade e a capacidade produtiva do solo são reduzidas, tornando-o menos fértil e menos adequado para o suporte da vegetação e da vida em geral. Esse fenômeno pode ser causado por várias atividades humanas e fatores naturais, levando à degradação dos recursos do solo, como a perda de matéria orgânica, a compactação, a erosão, a salinização, e acidificação e a contaminação por produtos químicos. (CHERLET et al., 2018).

O desmatamento e o uso inadequado de terras para a agricultura, a pecuária intensiva, a mineração e a urbanização desordenada são algumas das principais causas da degradação do solo. Quando o solo é degradado, sua capacidade de reter água, nutrientes e carbono é comprometida, o que afeta diretamente a produtividade agrícola, a disponibilidade de água e os ecossistemas naturais. A degradação do solo é uma preocupação ambiental significativa, pois pode levar à perda de biodiversidade, à redução da segurança alimentar, ao aumento da vulnerabilidade a desastres naturais, como enchentes e secas, e à intensificação dos efeitos das mudanças climáticas. (IPCC, 2019).

3.3.1 Uso inadequado de terras

O uso inadequado da terra trata-se de práticas de origem antropogênicas que afetam negativamente a produtividade e a sustentabilidade da terra e dos ecossistemas numa área específica. Isto acontece quando o uso da terra não leva em conta a conservação dos recursos naturais, a preservação da biodiversidade e a manutenção dos serviços ecossistêmicos.

O uso inadequado da terra pode assumir diversas formas, incluindo desflorestamento excessivo, expansão agrícola ou pecuária insustentável, urbanização desordenada, degradação do solo devido ao uso intensivo de produtos químicos e práticas de manejo inadequadas.

Este tipo de uso do solo pode levar a uma série de consequências negativas, incluindo a perda de habitats e espécies naturais, erosão do solo, desertificação, poluição do solo e da água, má qualidade do ar e impactos das alterações climáticas.

Com o tempo, o uso inadequado da terra ameaça a capacidade de produção de alimentos, a segurança do abastecimento de água e o bem-estar das populações dependentes dos recursos naturais (WER, 2009).

3.3.2 Desmatamento

O desmatamento, que também pode ser chamado de desflorestamento ou desflorestação, nada mais é do que o procedimento para remover total ou parcialmente a vegetação em uma certa área.

Segundo o Relatório anual de desmatamento no Brasil (2022), os biomas com maiores perdas no país são a Amazônia, o Cerrado e a Caatinga.

A retirada da cobertura original do solo do bioma caatinga é um dos primeiros indicadores dos processos de degradação e desertificação da região. Se a cobertura vegetal nativa é mantida, a possibilidade de qualquer degradação é pequena, e a degradação por causa antrópica é menor ainda. Portanto a desertificação tende a começar com o desmatamento (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005).

3.4 Mudanças climáticas

De acordo com o IPCC de 2007, o termo “mudança climática” é utilizado para descrever qualquer mudança no clima que possa ocorrer ao longo do tempo, em decorrência à variabilidade natural ou da atividade antropogênica.

As mudanças climáticas exercem cada vez mais pressão sobre a produção e o acesso aos alimentos, especialmente em regiões vulneráveis, e comprometem a segurança alimentar e a nutrição (WMO,2023).

3.4.1 Mudanças climáticas e Agricultura

A agricultura depende diretamente dos fatores climáticos, como temperatura, precipitação pluviométrica, radiação solar, umidade relativa, umidade do solo, etc. A ocorrência de mudanças na variabilidade do clima, na ocorrência de eventos extremos (secas mais prolongadas, chuvas torrenciais ou ainda o aumento na frequência de ondas de calor) gera consequências econômicas, sociais e ambientais nas várias regiões do País. As mudanças na produção agrícola, tanto pelo aumento da produção devido ao efeito fertilizador de carbono por meio de maiores quantidades de CO₂ atmosférico como por alterações no ciclo produtivo, devido à mudança no número de graus-dia, ou pela ocorrência e a severidade de pragas e doenças, poderão afetar a economia interna, gerando uma nova geografia da produção. Estas mudanças podem variar em diferentes partes do país, de forma que os estudos sobre os efeitos das alterações climáticas no crescimento das culturas devem ser realizados em diferentes regiões para maximizar o seu potencial de produção (DECONTO et al., 2008; JESUS JUNIOR et al., 2008).

3.5 Agricultura em terras áridas

Os solos de terras áridas são caracterizados por estresse hídrico frequente, pequena retenção de água capacidade, baixo teor de matéria orgânica, suscetibilidade à erosão e ao baixo teor de nutrientes, particularmente em nitrogênio (SKUJINS, 1991).

Vegetação sustentada por esses solos variam de áridos ou com vegetação escassa deserto a pastagens, matagais e savanas ou florestas secas. Uma combinação de meteorologia (chuva, temperatura, radiação), clima e solo características (capacidade de retenção de água, matéria orgânica e conteúdo de matéria) juntamente com baixas taxas de germinação e alta mortalidade de plântulas, resulta em muito baixo produtividade das plantas para sistemas agrícolas sedentários em terras áridas (GAMP, 2010).

3.6 Agricultura no semiárido brasileiro

A agricultura por si só é uma atividade que tem um impacto significativo no ambiente, independentemente da escala; isto dependerá das tecnologias e práticas utilizadas para cultivar a terra. Em muitas regiões semiáridas, a degradação ambiental começa com práticas agrícolas ineficientes que removem a cobertura vegetal original do solo, deixando-o vulnerável à erosão. Muitas vezes, o crescimento dessas práticas, que retiram produtos sem repor nutrientes, resulta na perda da fertilidade do solo. Considerando os tipos de solo da área, isso pode agravar o processo de degradação dos biomas. A agricultura irrigada que não leva em conta as características físicas do local também pode causar sérios problemas como salinização, erosão e lixiviação. O uso de maquinário também pode interferir na conservação do solo, pois poderá causar o processo de compactação, entre outros (BRASILEIRO, 2009).

3.7 Índices e Indicadores

A variável do indicador interpreta um fenômeno, quantificando-o e explicando-o, preferencialmente uma variável quantitativa, mas que pode ser qualitativa na ausência de dados quantitativos, e dentre suas funções estão: “avaliar condições ou tendências; comparar regiões ou situações; fomentar informações preventivas e antecipar condições e tendências futuras” (SOUZA, 2014).

Um indicador deve ter significado próprio, ser claro, simples. Além disso, deve ser quantificável e sensível a alterações com o tempo, mostrando tendências, e os dados devem estar disponíveis e de fácil obtenção. (SCHENKEL et al, 2003)

Os indicadores devem apresentar as seguintes características: fáceis de manejar e medir, ser interdisciplinar, ter alto grau de agregação com outros indicadores, além de dados locais e temporais para avaliar a variação do fenômeno no tempo. (SOUZA, 2014).

Para um melhor estudo de terras secas como o semiárido Alagoano, se faz necessário a utilização de índices que possam permitir a obtenção de informações sem depender exclusivamente de dados meteorológicos.

Um índice ou indicador pode ser definido como uma forma de resumir as informações relevantes de um fenômeno em particular, onde o principal objetivo é agregar, quantificar e simplificar essas informações com o intuito de melhorar seu entendimento e compreensão (BARBOSA E ERTUK, 2009).

3.7.1 Precipitação Pluviométrica

A água desempenha um papel muito importante na agricultura, pois além de solvente, está envolvida em quase todos os processos fisiológicos e bioquímicos, através dos quais gases, minerais e outros solutos entram nas células e circulam pelas plantas. Também desempenha um papel importante na regulação térmica das fábricas, tanto para resfriamento quanto para manutenção e distribuição de calor (OMETTO, 1981).

A precipitação é um dos fenômenos que causa maior incerteza sobre mudanças nos cenários futuros, segundo o IPCC (2007). Porém, sua importância para as plantas é diferente da determinação da profundidade de irrigação, e não se pode ignorar que não só afeta diretamente as condições fitossanitárias, mas também afeta o crescimento e desenvolvimento das plantas, como a coloração das fruteiras. (OMETTO, 1981).

3.7.2 Umidade do solo

A umidade do solo é um dos principais fatores no estudo da seca, clima e vegetação. Esse fator tornou-se indispensável para a agricultura, pois pode estimar quantitativamente a água que pode ficar retida no solo durante um determinado período de tempo.

O conhecimento da umidade do solo é de fundamental importância devido ao papel ambiental relacionado a processos biológicos, ecológicos, hidrológicos e atmosféricos (Zhan et al., 2004; Ávila et al., 2010). Além disso, é essencial para apontar a condição hídrica do solo, o que ajuda a reduzir o custo de água e energia elétrica, considerando que o monitoramento da umidade do solo permite que a água seja controlada e aplicada nos momentos certos, e que seja irrigado de acordo com a demanda de água da cultura. Portanto, para realizar a irrigação, a umidade do solo deve ser determinada com antecedência e utilizada como referência para a quantidade de água a ser aplicada. (MORAN et al., 2015)

A seca do solo é a redução do armazenamento de água na superfície do solo durante os períodos de calor, quando não há chuva e quando a umidade do ar é baixa.

Com relação à água no solo, a capacidade de água disponível (CAD) para os cultivos é estimada em função da profundidade efetiva das raízes da planta (Z_e) e da água disponível no solo (AD). A definição de água disponível (AD) mostra a

quantidade de água que pode ser armazenada no solo e utilizada pelas plantas. Este atributo do solo é importantíssimo para a agricultura, porque quanto maior a AD, maior será o período em que uma cultura conseguirá sobreviver sem chuvas, absorvendo apenas a água armazenada no solo (MONTEIRO, 2009; TEIXEIRA et al., 2021).

De acordo com Ramalho Filho (2010), a deficiência de água refere-se à quantidade de água armazenada no solo que está disponível para as plantas, que depende das condições climáticas (especialmente precipitação e evapotranspiração) e das condições do solo (retenção de água e capacidade de transporte no solo).

3.7.3 Índice de vegetação

O monitoramento da vegetação é importante em diversas áreas de pesquisas e tem algumas aplicações como: Monitoramento das secas e safras agrícolas, controle e alerta de pontos de desastres naturais e desertificação.

Um índice de vegetação é um valor numérico usado para prever ou avaliar características vegetativas, como área foliar da planta, biomassa total e saúde geral e vigor da vegetação superficial. Os índices de vegetação são geralmente derivados de observações multiespectrais de sensoriamento remoto. Como as plantas em crescimento refletem fortemente os comprimentos de onda da luz no infravermelho próximo, combinações de medições do infravermelho próximo e do visível dos espectros são usadas para gerar uma variedade de índices diferentes (AMS, 2012).

3.7.4 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Um dos índices de vegetação mais comum é Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). O NDVI é um índice vegetativo, calculado como uma razão entre a refletividade medida nas regiões do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético (equação 1). As faixas de valores obtidas pelo NDVI variam entre -1 e $+1$ (ROUSE et al., 1973).

3.8 Desertificação

A definição de desertificação é controversa. Existem diferentes abordagens de autores e organizações que utilizam critérios humanos e climáticos com diferentes ênfases.

A desertificação pode ser causada por múltiplos fatores interativos de clima, origem socioeconômica e ecológica que se desenrola através de uma infinidade de caminhos em diferentes locais (GAMP, 2010).

De acordo com Vasconcelos Sobrinho (1978), a desertificação é o processo de fragilização dos ecossistemas em áreas áridas devido a excessivas atividades antrópicas, resultando em perda de produtividade e na capacidade de auto restauração.

Segundo Ab'Saber (1977), a desertificação é um processo parcial, pontual, suficiente para causar degradação irreversível da paisagem e dos tecidos ecológicos naturais.

Hoje, a definição que melhor é aceita é a da *United Nations Convention to Combat Desertification* (UNCCD), que define desertificação como degradação da terra em terras áridas. Esse fenômeno é impulsionado por uma combinação de fatores naturais, como mudanças climáticas e variações climáticas cíclicas, juntamente com atividades humanas inadequadas, como o uso insustentável do solo, o desmatamento e a expansão agrícola sem controle (CHERLET et al, 2018).

Com o avanço da desertificação, a vegetação de uma região é substituída por áreas áridas e empobrecida, que leva à perda de biodiversidade, à degradação da qualidade do solo e à escassez de água, com graves consequências socioeconômicas para as comunidades que dependem destas regiões degradadas. (CHERLET et al, 2018; GAMP, 2010).

A desertificação pode ser considerada e estudada em diferentes escalas espaciais, desde terras cultivadas (microescala) até à escala de países inteiros (macroescala). Diversos processos podem ser indicados como fatores que impulsionam a desertificação ao estudá-la em diferentes escalas espaciais. Além disso, os indicadores de desertificação podem depender da escala considerada (GAMP, 2010).

Quadro 1. Resumo das principais causas e indicadores de desertificação em três escalas espaciais diferentes.

Escala Espacial	Desertificação		
	Causas Naturais	Causas antropogênicas	Indicadores
Macro escala (2 000–10 000 km)	<input type="checkbox"/> Alterações climáticas globais; <input type="checkbox"/> Aumento da seca; <input type="checkbox"/> Mudança nas áreas de vegetação;	<input type="checkbox"/> Migração em grande escala; <input type="checkbox"/> Aumento populacional;	<input type="checkbox"/> Mudanças no uso da terra; <input type="checkbox"/> Cobertura vegetal reduzida;
Meso escala (2–2 000 km)	<input type="checkbox"/> Mudanças climáticas locais <input type="checkbox"/> Padrões de chuva perturbados <input type="checkbox"/> Aumento das temperaturas	<input type="checkbox"/> Aumento populacional <input type="checkbox"/> Desmatamento <input type="checkbox"/> Urbanização	<input type="checkbox"/> Redução da cobertura florestal <input type="checkbox"/> Diminuição de pastagens <input type="checkbox"/> Aumento de terras agrícolas <input type="checkbox"/> Estatísticas de rendimento em declínio <input type="checkbox"/> Despejo de sedimentos em rios <input type="checkbox"/> Frequência de tempestade de poeira
Micro escala (<2km)	<input type="checkbox"/> Padrão irregular de chuva <input type="checkbox"/> Aumento das temperaturas <input type="checkbox"/> Balanços hídricos perturbados <input type="checkbox"/> Aumento da erosão	<input type="checkbox"/> Má gestão da terra <input type="checkbox"/> Más práticas de irrigação <input type="checkbox"/> Esgotamento de nutrientes do solo <input type="checkbox"/> Remoção de árvores	<input type="checkbox"/> Cobertura vegetal deficiente <input type="checkbox"/> Baixo rendimento das colheitas <input type="checkbox"/> Características de erosão hídrica <input type="checkbox"/> Características de erosão eólica <input type="checkbox"/> Solos nus

Fonte: Adaptado de GAMP, 2010.

3.9 Terraclimate

O TerraClimate é um conjunto de dados climáticos mensais com uma alta resolução espacial, de aproximadamente 4 km. O TerraClimate utiliza sistemas climatizados interpolação, combinando normais climatológicas de alta resolução espacial do conjunto de dados WorldClim, com tempo de resolução mais grosseiro, variando dados (isto é, mensais) de outras fontes para produzir um conjunto de dados mensal de precipitação, temperatura máxima e mínima, velocidade do vento, pressão

de vapor e radiação solar. O TerraClimate também produz conjuntos mensais de dados de balanço hídrico superficial usando um modelo de balanço hídrico que incorpora evapotranspiração de referência, precipitação, temperatura e umidade do solo. Esses dados fornecem insumos importantes para estudos ecológicos e hidrológicos em escalas globais que exigem alta resolução espacial e clima variável no tempo e equilíbrio hídrico climático dado. (ABATZOGLOU et al., 2018).

3.10 Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS)

Desde 1999, cientistas do USGS e do CHC, com financiamento da USAID, NASA e NOAA, desenvolveram técnicas para produzir mapas de precipitação, especialmente em áreas onde os dados de superfície são escassos.

O CHIRPS foi criado em colaboração com cientistas do Centro de Observação e Ciência de Recursos Terrestres (EROS) do USGS para fornecer conjuntos de dados completos, confiáveis e atualizados para uma série de objetivos de alerta precoce, incluindo análise de tendências e monitoramento.

Os primeiros estudos concentraram-se na combinação de modelos de aumentos de precipitação induzidos pelo terreno com dados de estação interpolados. Recentemente, novos recursos em observações de satélite, como as estimativas de precipitação em grade baseadas em satélite da NASA e da NOAA, foram usados para construir climatologias de precipitação em grade de alta resolução (0,05°). Quando aplicadas a campos de precipitação baseados em satélite, estas climatologias melhoradas podem remover distorções sistemáticas – uma técnica fundamental na produção do conjunto de dados CHIRPS de 1981 até ao presente.

3.11 O sistema VEGETATION

O sensor VEGETATION (VGT), a bordo do SPOT 4, teve seu lançamento em abril de 1998 e o VEGETATION 2 a bordo do SPOT 5 está ativo desde o seu lançamento em fevereiro de 2003. (LASAPONARA, 2006; Huang et al, 2008).

O VGT faz parte de uma nova geração de sensores ópticos espaciais que foram projetados para observações de vegetação e superfícies terrestres. Em 6 de maio de 2013, o satélite PROBA-V foi lançado para preencher a lacuna de medição de vegetação entre os satélites SPOT-VGT e tem como objetivo dar continuidade à missão (WOLTERS et al, 2014).

Estes sensores oferecem uma cobertura global com resolução temporal de 24h, com uma resolução espacial de cerca de 1 km. As medições de refletância são implementadas em quatro janelas espectrais: azul, verde, vermelho e no infravermelho próximo e com resolução radiométrica de 8 bits (HUANG et al, 2008; LIU et al., 2010).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

4.1.1 Caracterização da Área de Estudo

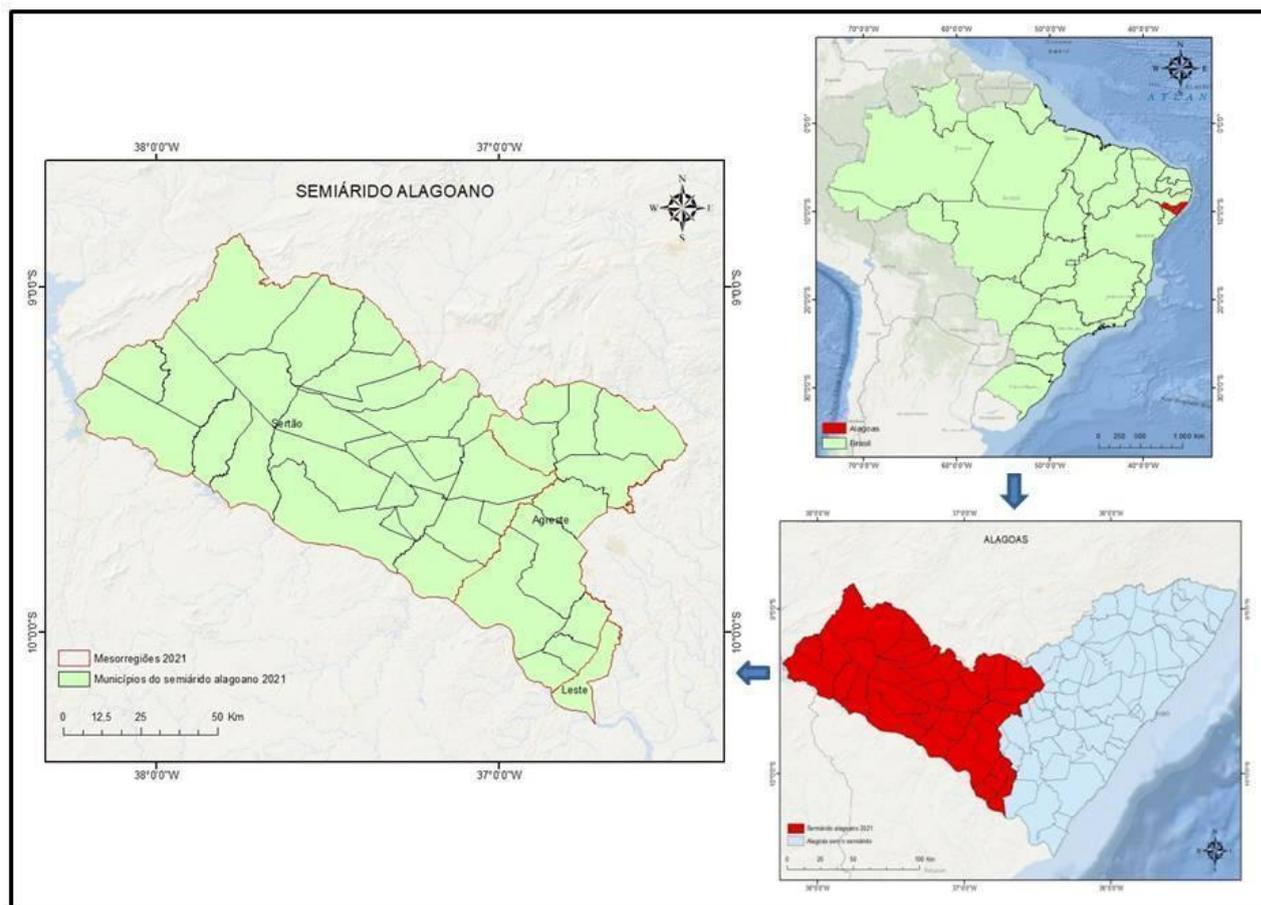
O Semiárido Brasileiro é uma área definida pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) levando em consideração as condições climáticas predominantes de semiaridez, principalmente as precipitações.

A variabilidade espaço-temporal das chuvas na região semiárida do Brasil, aliada à baixa pluviosidade anual da região, resulta em frequentes dias sem chuva e conseqüentemente resultando em eventos de "seca".

Alagoas é uma das 27 unidades federativas do Brasil. Está situado no leste da região Nordeste, com uma área aproximada de 27.831 km² e um total de 102 municípios pertencentes ao seu território, onde está localizado o semiárido alagoano (Figura 1). A zona semiárida que pertence ao estado de Alagoas compreende uma área de 12.427 km², correspondendo a 47.86% do território alagoano, e uma população de 541.950 habitantes, segundo o censo demográfico (IBGE, 2010; IBGE, 2023).

Em março de 2005, o Ministério da Integração Nacional (MI) definiu 38 municípios em algum estágio de degradação ambiental. A delimitação do mapa do semiárido é revisada regularmente, sendo que a última revisão foi efetuada em 2021 e que será utilizada neste estudo.

Figura 1. Localização do Semiárido Alagoano no espaço geográfico brasileiro em 2021.



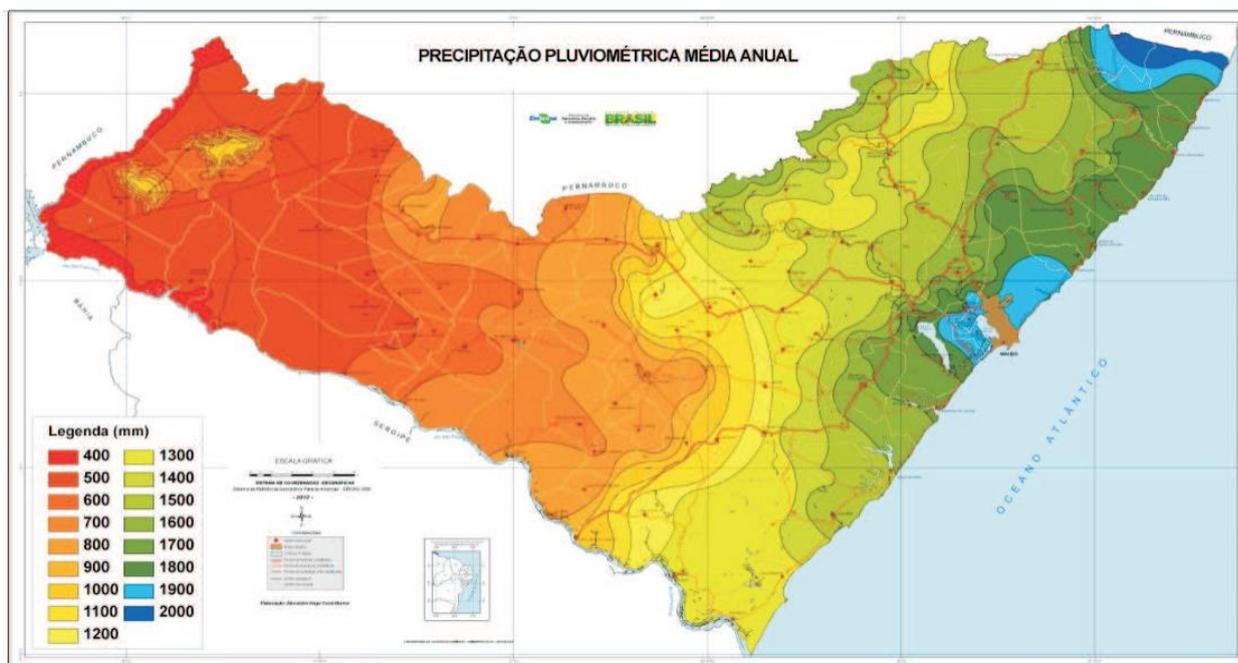
Fonte: Autora, 2023.

Para a caracterização e delimitação das áreas semiáridas de Alagoas, além da degradação, considera-se a precipitação como a principal variável. É levado em consideração, além da degradação, o Índice de Seca de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50, o índice anual de déficit hídrico de 60% levando em consideração todos os dias do ano (IBGE, 2018).

Segundo a classificação de Köppen o clima predominante do semiárido alagoano é o BSh (Clima Semiárido quente). É caracterizado por escassez de chuvas e grande irregularidade em sua distribuição; baixa nebulosidade; forte insolação; índices elevados de evaporação, e temperaturas médias elevadas, por volta de 27°C. A umidade relativa do ar é normalmente baixa, e com poucas chuvas, de 250 mm a 750 mm por ano. (Figura 2), concentram-se num espaço curto de tempo, provocando enchentes torrenciais. Mesmo durante a época das chuvas sua distribuição é irregular, deixando de ocorrer durante alguns anos e provocando secas. A vegetação característica desse tipo de clima é a xerófila (Caatinga). (Embrapa, 2023).

Segundo o Instituto nacional do Semiárido – INSA (2023), o Semiárido possui mais de onze mil espécies vegetais catalogadas, sendo a Caatinga o bioma predominante do Semiárido brasileiro, constituída especialmente por leguminosas, gramíneas, euphorbiáceas, bromeliáceas e cactáceas.

Figura 2. Precipitação pluviométrica média anual para o Estado de Alagoas.

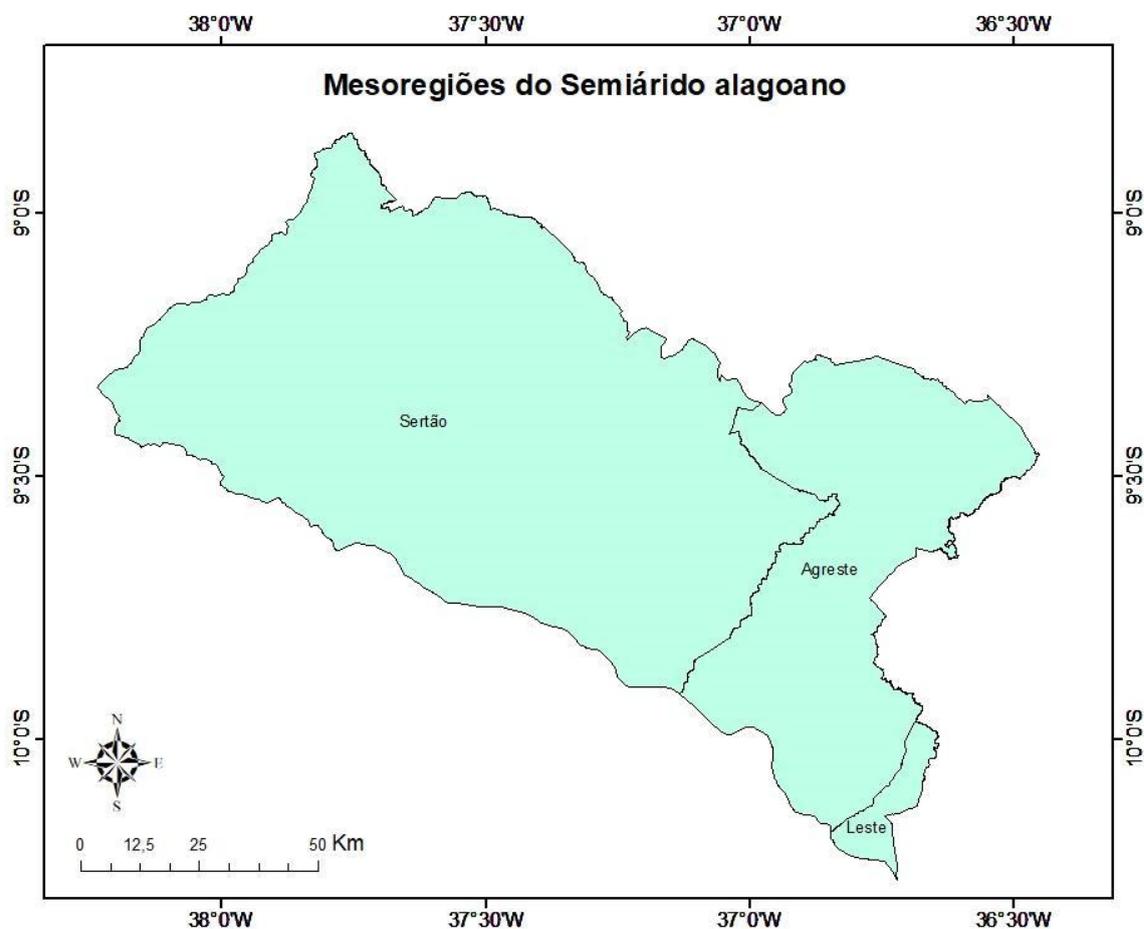


Fonte: Embrapa, 2012.

Segundo o censo (IBGE, 2010), o semiárido que circunda o estado de Alagoas abrange uma área de 12.427 km², correspondendo a 47,86% do território alagoano, e possui uma população de 541.950 habitantes.

De acordo com Souza (2020) o estado de Alagoas está dividido em três zonas climaticamente intermediárias: Leste, Agreste e Sertão Alagoano. (Figura 3). A parte oriental é a maior área do território e inclui os distritos do litoral e da mata. O Agreste é a zona de transição entre zonas úmidas e secas, enquanto o Sertão Alagoano corresponde a áreas caracterizadas por climas áridos e semiáridos (IBGE, 2023).

Figura 3. Divisão das mesorregiões do semiárido alagoano.



Fonte: Autora, 2023.

4.1.2 Dados de vegetação

Para os dados de vegetação, foram utilizados dados de NDVI derivados dos satélites SPOT/PROBA-V. Com resolução espacial de 1km e resolução temporal de 10 dias, foram utilizados dados para o período de 1999-2020. Os dados de NDVI estão disponíveis em: (<https://land.copernicus.eu/global/products/ndvi>).

O produto VGT faz uma combinação de dados diários, após realização da correção geométrica, atmosférica e de todos os segmentos de vegetação, com uso do algoritmo "maximum value composite" (MVC). Este algoritmo seleciona os melhores valores de reflectância, o que gera uma única imagem com a menor interferência de nuvens possível. A resolução radiométrica final é de 8 bits em níveis de cinza e a resolução espacial é de 1 km (VICENTE et al, 2012; SMETS, 2015).

O NDVI é calculado pela razão entre a diferença e a soma das reflectâncias nas bandas do visível e do infravermelho próximo. O NDVI é calculado da seguinte forma:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

NIR: valor da reflectância da banda no Infravermelho próximo (-).

Red: valor de reflectância da banda no vermelho (-).

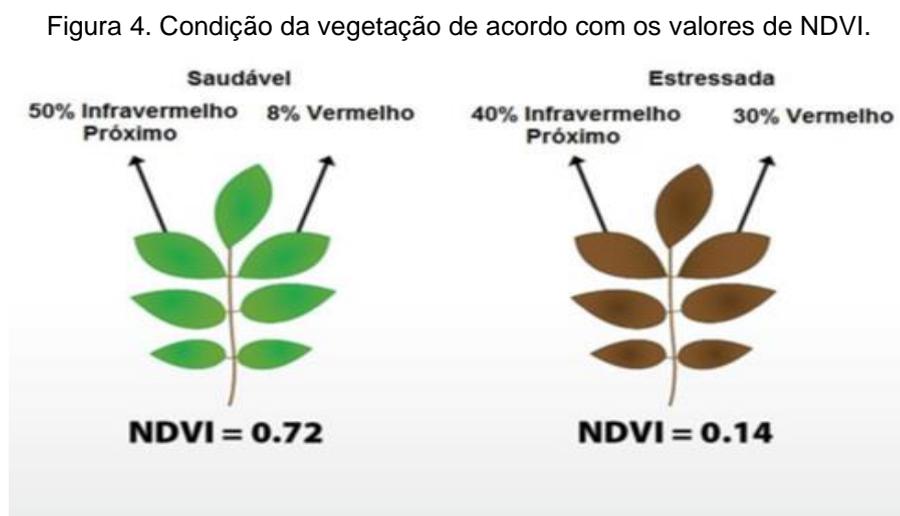
O aumento da quantidade de vegetação e da atividade fotossintética conduz a um aumento no NDVI. Por outro lado, o estresse hídrico causa uma redução na taxa fotossintética e de transpiração da planta, o qual se traduz em uma redução substancial do NDVI, ou seja, para vegetação seca, o IVDN é baixo, mas é alto para vegetação em pleno vigor. (LAPIS, 2019; PARKINSON, 1997).

As imagens do SPOT VGT são disponibilizadas em tons de cinza. Para a conversão dos dados para a faixa física da banda IVDN é necessário que seja aplicada a seguinte equação, para o SPOT ou PROBA-V (SMETS, 2015):

$$NDVI = \frac{ND}{250} - 0,08 \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

ND = número digital da imagem que varia de 0 a 255.



Fonte: LAPIS, 2019.

De acordo com Paixão et al., 2009; López et al., 2010; Chaves et al., 2012, valores de NDVI abaixo de 0,4 durante períodos de secos são mais consistentes com a resposta da vegetação da Caatinga hiperxerófila, como a da área de estudo.

Segundo Oliveira et al (2013), valores baixos de NDVI ($< 0,4$) configuram áreas com vegetação estressada, degradada e suscetíveis à desertificação. Para Huete e Tucker (1991), o NDVI de solos expostos geralmente varia de 0,05 a 0,30, porém, devido às propriedades óticas do solo, não se pode definir uma faixa rigorosa de valores de NDVI para solos com pouca ou nenhuma vegetação.

Para Oliveira et al. (2013), o NDVI baixo configura vegetação estressada ou área degradada pela ação antrópica, decorrente de escassez hídrica, que tem como consequência a exposição do solo.

4.1.3 Dados de precipitação Pluviométrica

Para os dados de precipitação pluviométrica foram utilizados os dados CHIRPS para o período de 1982-2020 e que possuem uma resolução espacial de aproximadamente 5 quilômetros e uma cobertura de 50°S -50°N em todas as longitudes. Os dados CHIRPS foram obtidos com uma resolução temporal de 30 dias e no formato GeoTIFF. Estão disponíveis em: <https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/>

Segundo Funk et al. (2014), A estimativa de mudanças espaciais e temporais na precipitação é um aspecto fundamental do alerta de seca e do monitoramento ambiental. A evolução de uma estação mais seca do que o normal deve ser colocada num contexto histórico para permitir uma avaliação rápida da gravidade do déficit de precipitação. Contudo, as estimativas derivadas de dados de satélite fornecem médias regionais que são distorcidas pela complexidade do terreno, que muitas vezes subestima a intensidade de eventos extremos de precipitação. Por outro lado, as grades de precipitação produzidas a partir de dados de estações sofrem em regiões mais rurais, onde há menos estações pluviométricas.

4.1.4 Dados de umidade do solo

Para os dados de umidade do solo foram utilizados dos dados do TerraClimate que foram adquiridos com uma resolução espacial de 4km e a resolução temporal de

30 dias. Os dados podem ser adquiridos através do endereço eletrônico: <https://www.climatologylab.org/terraclimate.html>.

O conhecimento da umidade do solo é de extrema importância devido ao papel ambiental relacionado a processos biológicos, ecológicos, hidrológicos e atmosféricos. (Zhan et al., 2004; Ávila et al., 2010).

Nas zonas semiáridas, o crescimento e a produtividade das culturas e da vegetação natural estão diretamente relacionados com a umidade do solo fornecida pela precipitação ou irrigação. Essa umidade representa a quantidade de água presente nas camadas do solo e interage com a atmosfera por meio da evapotranspiração e precipitação (Syed et al., 2014; Li et al., 2016).

4.1.5 Programas computacionais R e QGIS

Para a preparação, processamento dos dados e elaboração dos mapas temáticos foram utilizados os programas R (versão 4.0) /Rstudio (versão 1.3.959) e o QGIS (versão 3.14.16 – Pi).

O R é uma linguagem estatística e gráfica e multiparadigma, além de ser uma ferramenta de código aberto projetada para manipular, analisar e visualizar dados. O R também é multiplataforma, o que significa que pode ser executado em diferentes sistemas operacionais, como Windows, Linux e Mac OSX. Além da linguagem R, existe também o ambiente de computação estatística e gráfica R, que é uma instalação integrada de software (RSTUDIO, 2023).

QGIS é uma aplicação de Sistema de Informações Geográficas (SIG) gratuito e de código aberto que oferece suporte à visualização, edição e análise de dados geoespaciais.

QGIS está disponível em diferentes sistemas operacionais, como: Windows, Mac OSX, Linux, Unix e Android. O programa suporta dados em formatos vetoriais e raster. Ele também fornece diversas ferramentas para manipular dados espaciais, como visualização, edição e análise. Além disso, é possível realizar análises espaciais e temporais, acessar bancos de dados, utilizar funções de conexão à Internet, visualização 3D de mapas e realizar análises multicritério (QGIS, 2023).

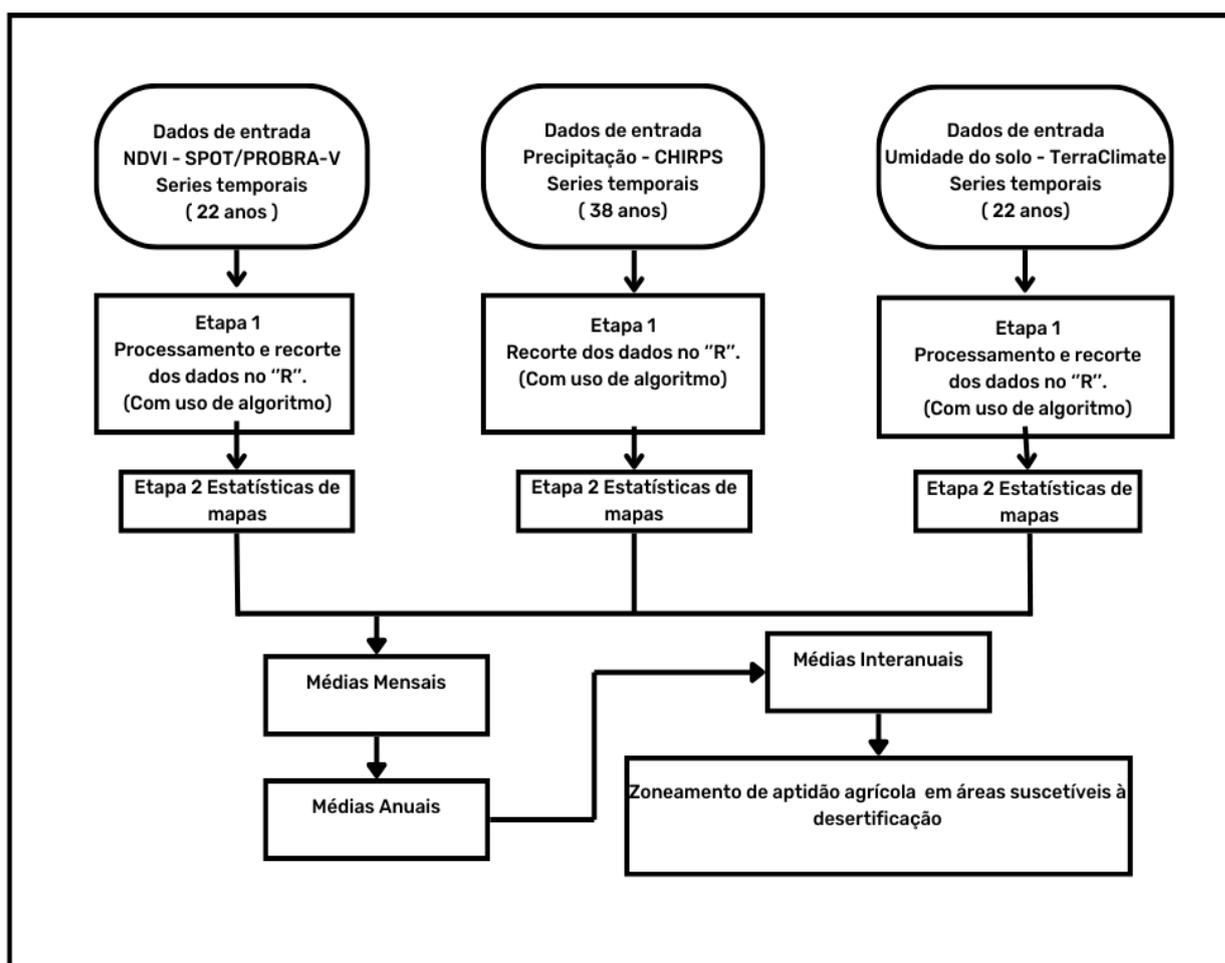
4.2 Métodos

4.2.1 Fluxograma metodológico

A definição de desertificação é controversa. Existem diferentes abordagens de autores e organizações que utilizam critérios humanos e climáticos com diferentes ênfases.

Essa metodologia teve como objetivo avaliar o potencial agrícola da região semiárida de Alagoas, a partir de uma série temporal de imagens de satélite, analisando variáveis agrometeorológicas. Foram utilizados dados de NDVI, precipitação e umidade do solo para períodos de 22 anos para o NDVI, 38 anos para precipitação e 22 anos para umidade do solo. A Figura 5 mostra um fluxograma que descreve as etapas aplicadas na metodologia.

Figura 5. Resumo das etapas aplicadas na metodologia.



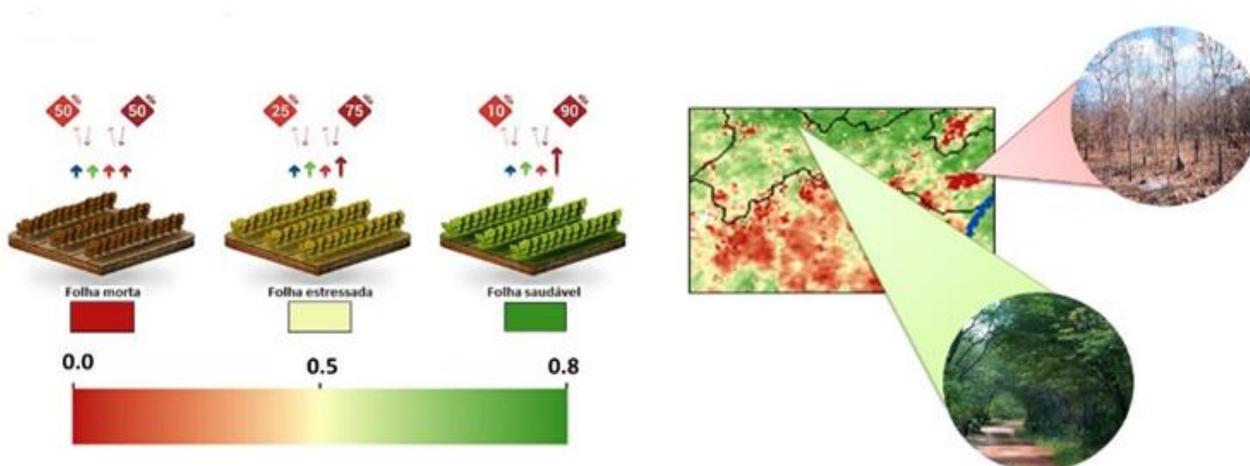
4.2.2 Análise da vegetação

Para a primeira etapa foram selecionadas um total de 792 imagens GeoTiff de IVDN, sem cobertura de nuvens para o período do mapeamento e análise, que corresponde a 22 anos de dados, sendo sua resolução temporal de 10 dias.

A resolução espacial das imagens é de 1km, onde, utilizando um algoritmo foi feito o processamento e recorte das imagens, cobrindo em totalidade a área do estado de Alagoas. Ainda nesta etapa, foi feito o recorte das imagens para área de estudo (Semiárido alagoano). Na 2ª etapa, foram efetuadas estatísticas de mapas e em seguida, utilizando o R studio geradas as médias mensais, médias anuais e por fim, médias interanuais.

Após concluir as estatísticas, foi elaborado um mapa temático com a média interanual do NDVI para analisar os valores máximos e mínimos e assim identificar áreas com as melhores condições da vegetação. A Figura 6 mostra como interpretar os valores de NDVI solo e um gráfico para análise temporal dos anos utilizados neste estudo.

Figura 6. Como interpretar o NDVI.



Fonte: Autora, 2021.

4.2.3 Análise da precipitação

Foram utilizadas um total de 456 imagens em formato GeoTiff, referentes a 38 anos de dados obtidos com resolução temporal de 30 dias.. Utilizando o R studio, foram feitos os recortes do produto CHIRPS para a área de interesse. Na 2ª etapa,

foram feitas as estatísticas de mapas, sendo assim geradas as médias anuais e por fim, obteve-se a média interanual de precipitação pluviométrica.

Após concluir as estatísticas, assim como o NDVI, foi gerado um mapa temático com a média interanual da precipitação pluviométrica para identificar as áreas com os menores e maiores índices de precipitação solo e um gráfico para análise temporal dos anos utilizados neste estudo.

4.2.4 Análise da umidade do solo

Para a análise da umidade do solo foram utilizados 22 anos de dados, com um total de 264 imagens no formato netCDF e com resolução temporal de 30 dias. Na primeira etapa os dados foram processados e recortados para a área de interesse utilizando o R studio. Após esses processos, na 2ª etapa da metodologia, foram efetuadas as estatísticas de mapas, onde foram geradas as médias anuais e interanuais.

Em seguida foi elaborado um mapa temático com a média interanual da umidade do solo para identificar áreas com os valores máximos e mínimos de umidade do solo e um gráfico para análise temporal dos anos utilizados neste estudo.

4.2.5 Análise condição agroclimática para suporte ao zoneamento agroecológico

A partir da média interanual de NDVI, foram analisadas áreas que tiveram uma melhor resposta da vegetação. Assim, os valores de obtidos a partir da resposta da vegetação NDVI foram relacionados com os valores obtidos através das médias interanuais de precipitação e umidade do solo da região para avaliar o potencial agrícola da região.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise da vegetação

O NDVI é um parâmetro que examina as condições da vegetação e estima a cobertura vegetal. Como indicador de vegetação, pode representar áreas suscetíveis à desertificação.

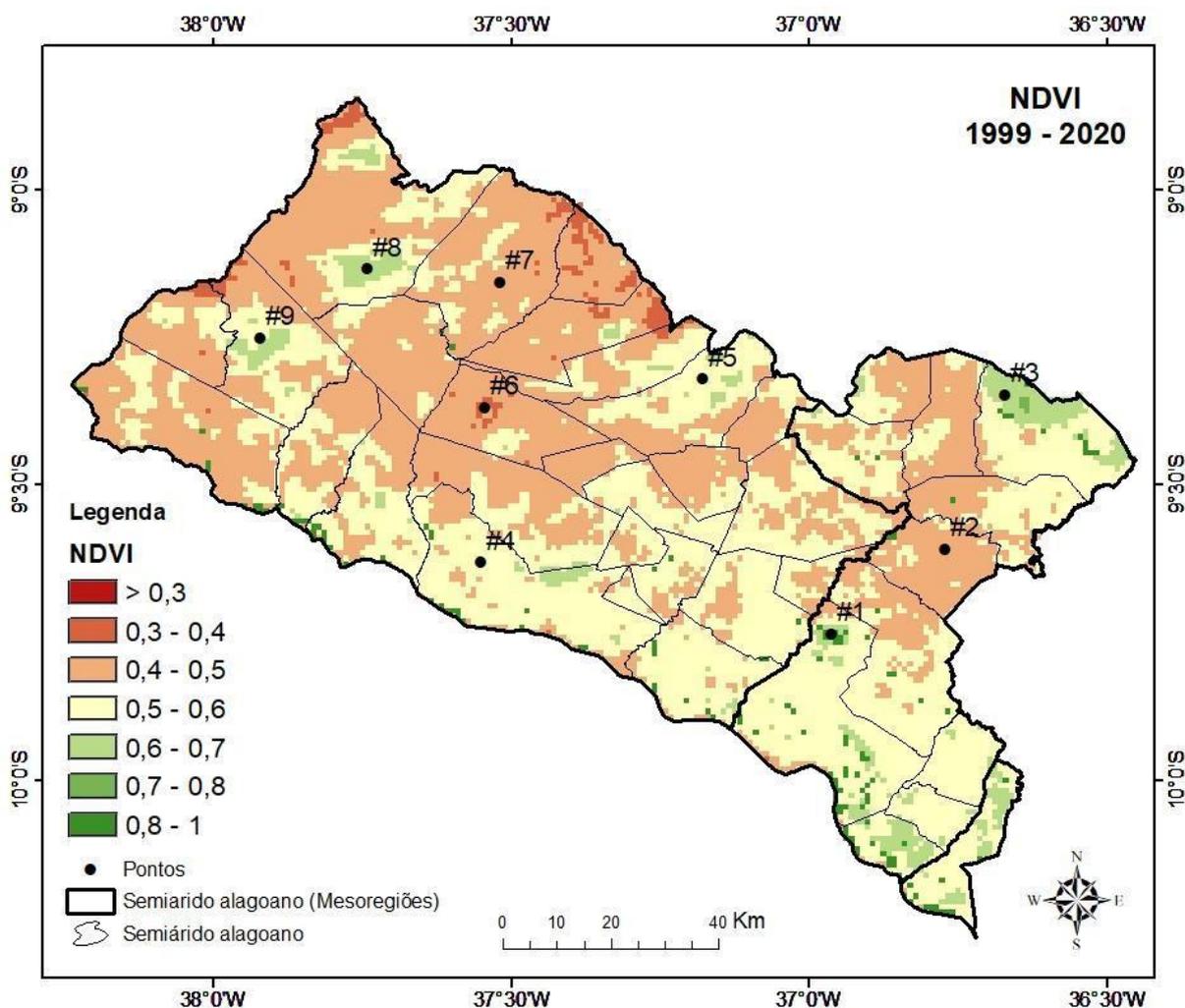
Analisando a média interanual de NDVI (Figura 7) é possível notar que o médio e alto sertão apresentam, quase que em sua totalidade, valores inferiores a 0,5, com exceção apenas de algumas áreas no alto sertão que apresentaram valores mais elevados, entre 0,5 e 0,7.

Na região do baixo Sertão, embora seja possível observar áreas com baixo valores de NDVI inferiores a 0,5, uma grande porção dessa região apresentou também valores entre 0,5 e 0,6.

Em grande parte do Agreste, podemos observar uma melhor condição da vegetação em relação ao Sertão com valores $> 0,5 < 0,8$. Ainda assim, a resposta da vegetação no Agreste também mostrou baixos valores, inferiores a 0,5. O município de Craíbas é onde melhor conseguimos verificar tais condições, que apresenta esses valores quase que em sua totalidade.

A parte Leste de Alagoas pertencente ao Semiárido Alagoano apresenta valores maiores de 0,5.

Figura 7. Média interanual de NDVI para o período de 1999 a 2020.



Fonte: Autora, 2024.

A Tabela 1 apresenta os valores predominantes de máximos e mínimos de NDVI encontrados em cada região do semiárido Alagoano, onde os menores valores foram observados no médio e alto Sertão, sendo o valor mínimo (0,37) encontrado no médio sertão. O maior índice (0,65) foi observado no baixo Sertão e Agreste.

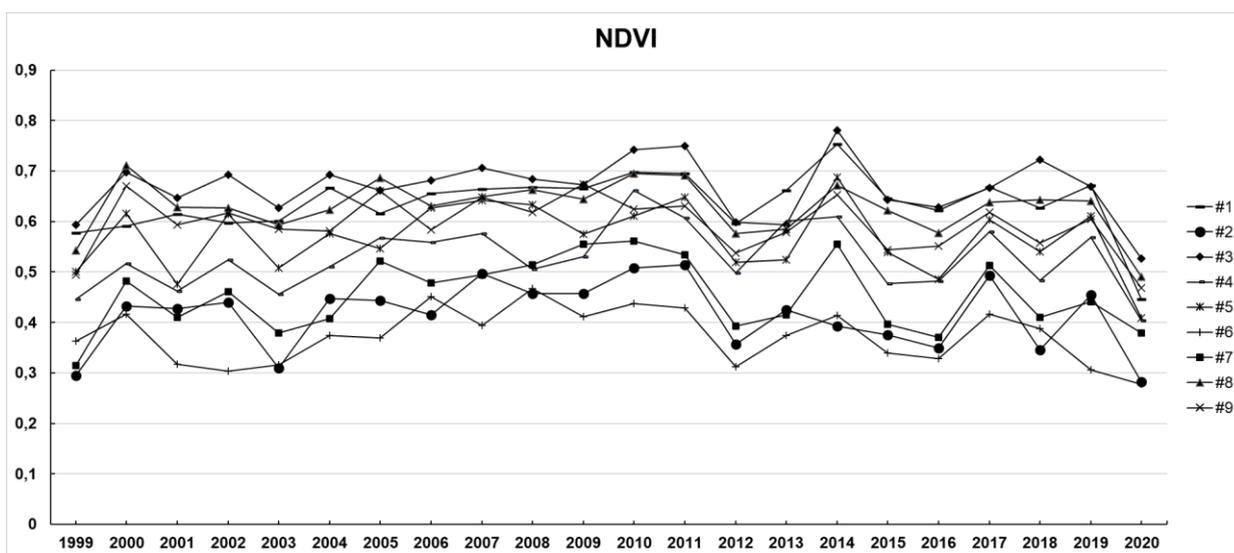
Tabela 1. Valores máximos e mínimos de NDVI obtidos a partir da Média interanual para o período de 1999 a 2020.

Área	Máximos Valores NDVI	Mínimos Valores NDVI
Alto Sertão	0,53 – 0,62	0,39 – 0,47
Médio Sertão	0,57 – 0,64	0,37 – 0,43
Baixo Sertão	0,51 – 0,65	0,47 – 0,49
Agreste	0,56 – 0,91	0,45 – 0,47
Leste	0,58 – 0,61	0,56 – 0,58

Fonte: Autora, 2024

A Figura 8 apresenta uma análise temporal do comportamento da vegetação do semiárido alagoano em 9 pontos selecionados. É possível observar que dentro do período analisado os valores de NDVI ficaram contidos, em sua maioria, entre 0,3 e 0,7. Nota-se também que todos os pontos selecionados de 1 a 9 mostraram que entre 2019 e 2020 houve uma menor resposta da vegetação e conseqüentemente uma diminuição dos valores de NDVI obtidos.

Figura 8. Variação do Comportamento do NDVI para o período de 1999-2020.



Fonte: Autora, 2024.

5.2 Análise da precipitação

A precipitação pluviométrica regula a umidade do solo e também servem como dados de entrada para a obtenção do índice de seca, um dos principais indicadores climáticos para determinar áreas mais suscetíveis à desertificação em regiões semiáridas (Brocca et al., 2017; Jesus et al., 2019).

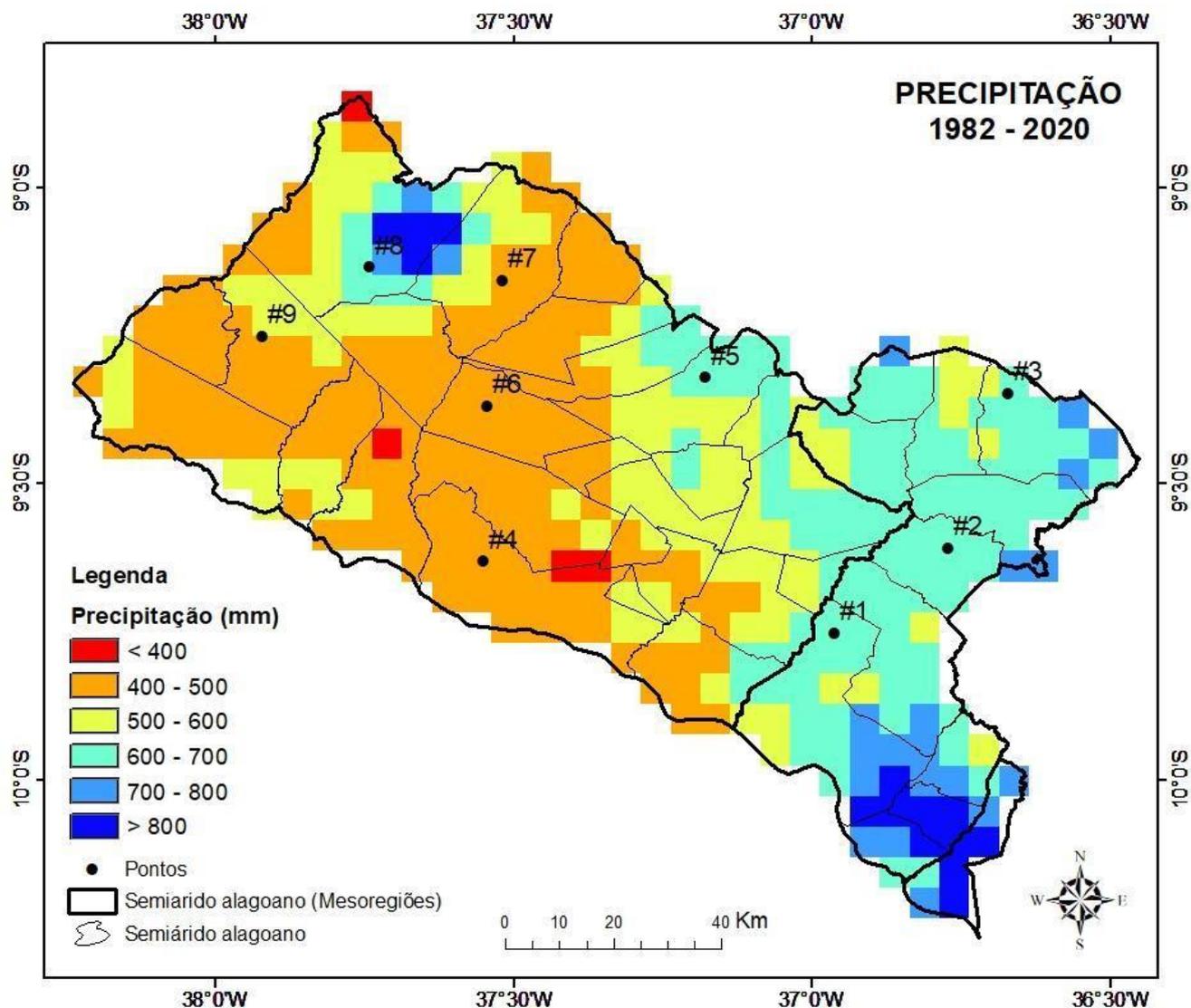
De acordo com a classificação de Köppen, as chuvas no semiárido alagoano variam entre 250 mm e 750 mm por ano, o que pode ser observado na média interanual da distribuição espacial da precipitação na Figura 9.

Com base na análise da média interanual de precipitação no semiárido alagoano, foi possível notar que houve um maior déficit de precipitação principalmente no alto e médio sertão que apresentaram valores variando entre < 400mm a valores < 600mm, com exceção apenas de uma área isolada situada no município de Mata Grande que mostra a quantidade de precipitação elevadas, chegando a valores > 800mm, devido à influência orográfica, onde as altitudes são elevadas e vegetação nativa, como destacado pelo estudo feito por Costa et al. (2020).

O Agreste e a parte leste do Semiárido alagoano apresentaram os maiores valores da precipitação pluviométrica acumulada, sendo os maiores valores encontrados no leste e municípios adjacentes do agreste. Uma situação semelhante

também pode ser observada em parte do baixo sertão por ainda sofrer influência da parte litorânea do estado.

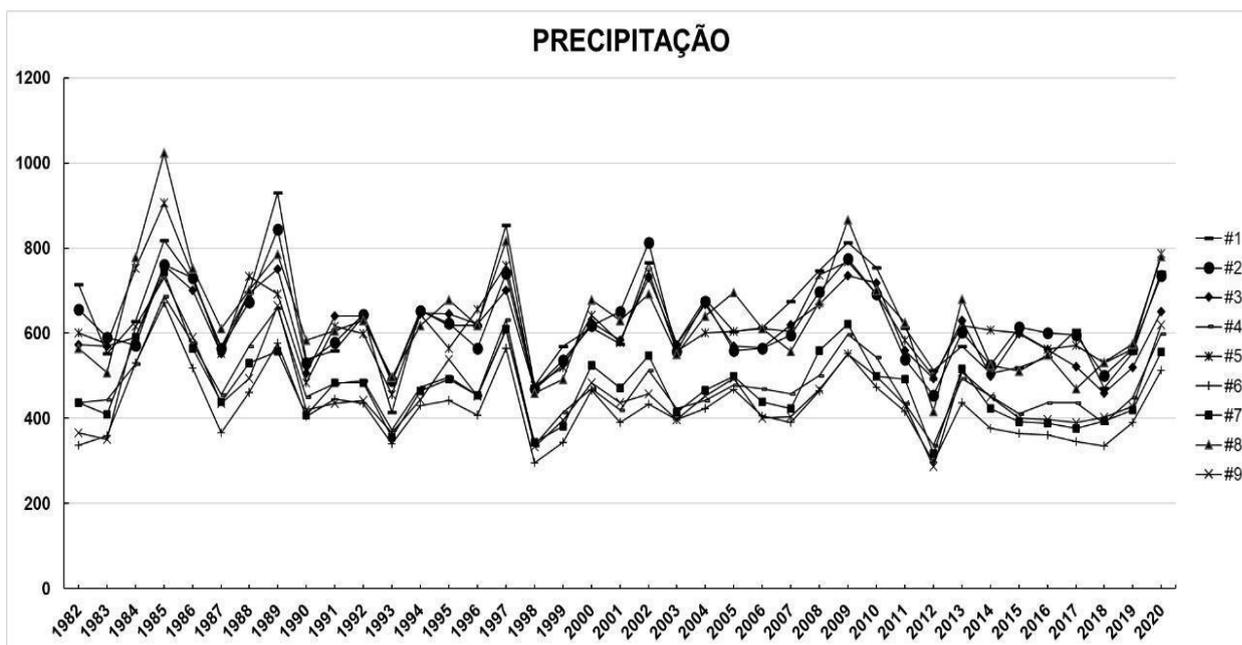
Figura 9. Distribuição espacial da precipitação pluviométrica, média para o período de 1999 a 2020.



Fonte: Autora, 2024.

A Figura 10 apresenta uma análise temporal da precipitação no semiárido alagoano em 9 pontos selecionados. É possível notar que os valores da precipitação variaram entre 400 mm e 800 mm, em sua maioria. Os maiores valores foram observados nos pontos 1 e 8 em Traipu e mata grande, com valores superiores a 800 mm, o que também pôde ser observado na média interanual. Nota-se também que entre os anos de 2019 e 2020 houve um aumento nos índices pluviométricos em todos os pontos.

Figura 10. Variação temporal da precipitação pluviométrica para o período de 1982-2020.



Fonte: Autora, 2024.

5.3 Análise da umidade do solo

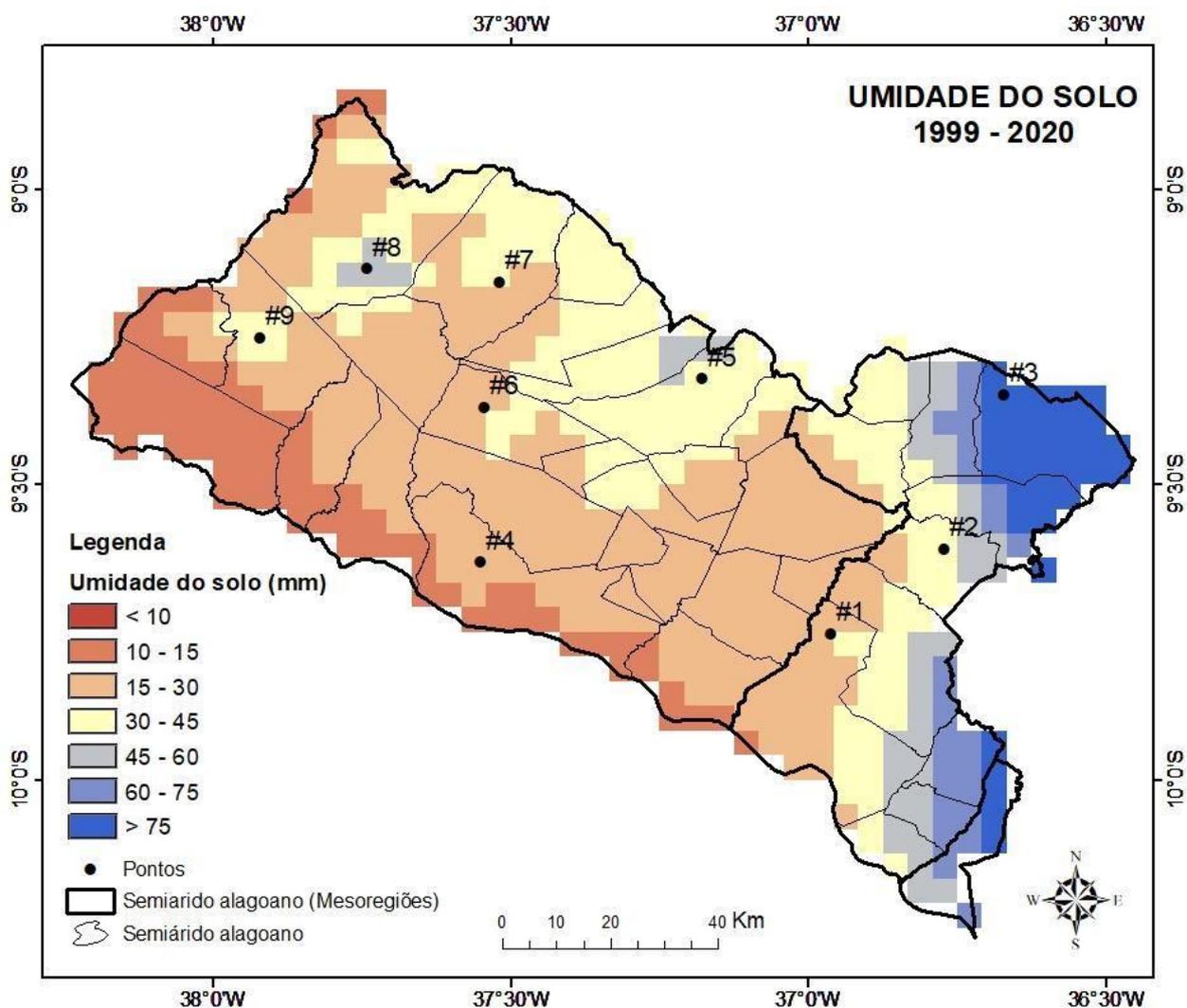
A umidade do solo é um parâmetro extremamente importante para as atividades agrícolas. Havendo escassez ou excesso de água pode causar a perda da vegetação.

Ao analisar a Figura 11, que traz a média interanual de umidade do solo, é possível notar que os menores valores de água retida no solo foram encontrados na região do Sertão Alagoano.

Os menores valores, inferiores a 15 milímetros, foram observados principalmente nas regiões próximas ao Rio São Francisco. Essa menor quantidade de água retida no solo pode ocorrer devido ao tipo de solo encontrado na área. Estas regiões pertencentes ao semiárido Alagoano e que são próximas ao Rio São Francisco possuem solos pedregosos e que dificultam a retenção de água.

No Agreste e na parte leste do estado de Alagoas, que pertence ao Semiárido, foram encontradas as melhores condições de umidade do solo, onde foi possível encontrar valores superiores a 75 milímetros.

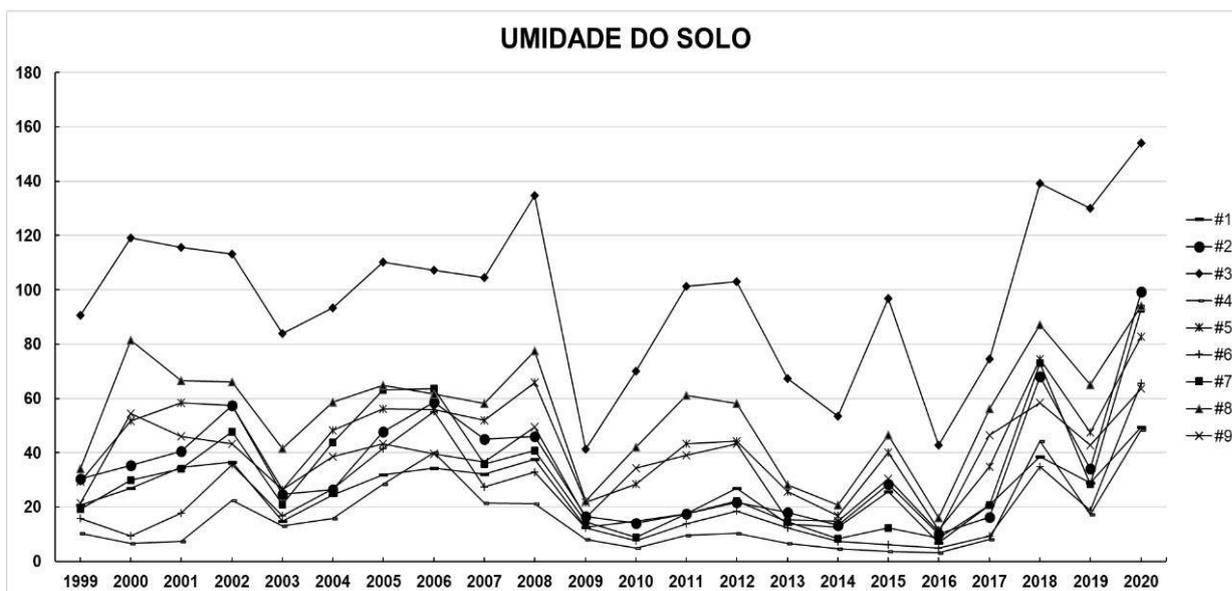
Figura 11. Média interanual de umidade do solo para o período de 1999 a 2020.



Fonte: Autora, 2024.

A Figura 12 apresenta uma análise da variação temporal da umidade do solo no semiárido alagoano em 9 pontos selecionados. No gráfico nota-se que os valores de umidade do solo ficaram contidos principalmente entre 15 mm e 80 mm. O ponto 3 correspondente a uma área dentro do município de Palmeira dos Índios apresentou os maiores valores, superiores a 80 mm e os menores valores foram observados no ponto 4 onde mostra valores de umidade do solo inferiores a 20 mm o que também pôde ser observado na média interanual. Assim como na análise Temporal da precipitação, a análise Temporal da umidade do solo também mostrou que entre o ano de 2019 e 2020 houve um aumento da umidade do solo em todos os pontos estudados.

Figura 12. Variação da umidade do solo para o período de 1999-2020.



Fonte: Autora, 2024.

5.4 Análise condição agroclimática para suporte ao zoneamento agroecológico

A precipitação é o mais importante fator que impacta no nível de produtividade das culturas, então o manejo do solo deve se adaptar com relação ao clima para um melhor aproveitamento da água disponível, desde que a presença de água no solo vai determinar a absorção de nutrientes pelas plantas.

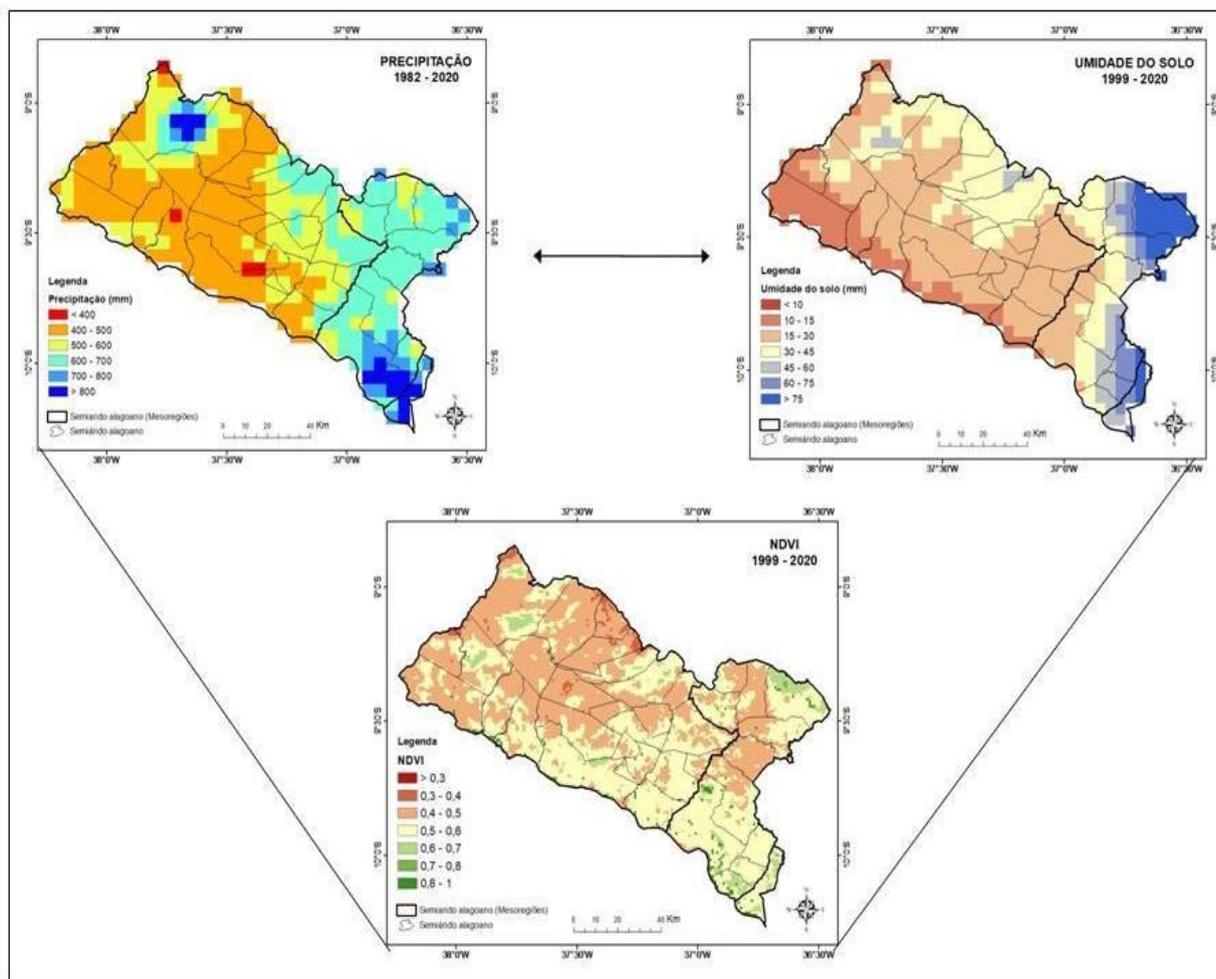
Seja vegetação nativa ou plantações, a precipitação e umidade do solo influenciam fortemente na saúde da vegetação. É possível observar que as áreas onde são observados os menores valores de NDVI estão associados ao baixo volume de precipitação pluvial e baixa quantidade de água retida no solo, o que indica a forte influência do clima na resposta obtida da vegetação. Essa condição foi observada principalmente no Alto e Médio Sertão.

Assim como em áreas com altos índices pluviométricos baixos, alta umidade do solo resulta em uma vegetação saudável e conseqüentemente em um valor elevado de NDVI e que foi observado principalmente no agreste e sertão.

De acordo com o zoneamento agroecológico realizado pelo Embrapa em 2014 (Figura 14), no semiárido Alagoano não existem muitas áreas com um alto potencial agrícola. Para terras agricultáveis indicadas para uso com culturas anuais e perenes, este estudo dividiu as regiões em 4 classes. No Sertão alagoano podemos observar uma maior região com um potencial agrícola regular e englobando Inhapi, Água

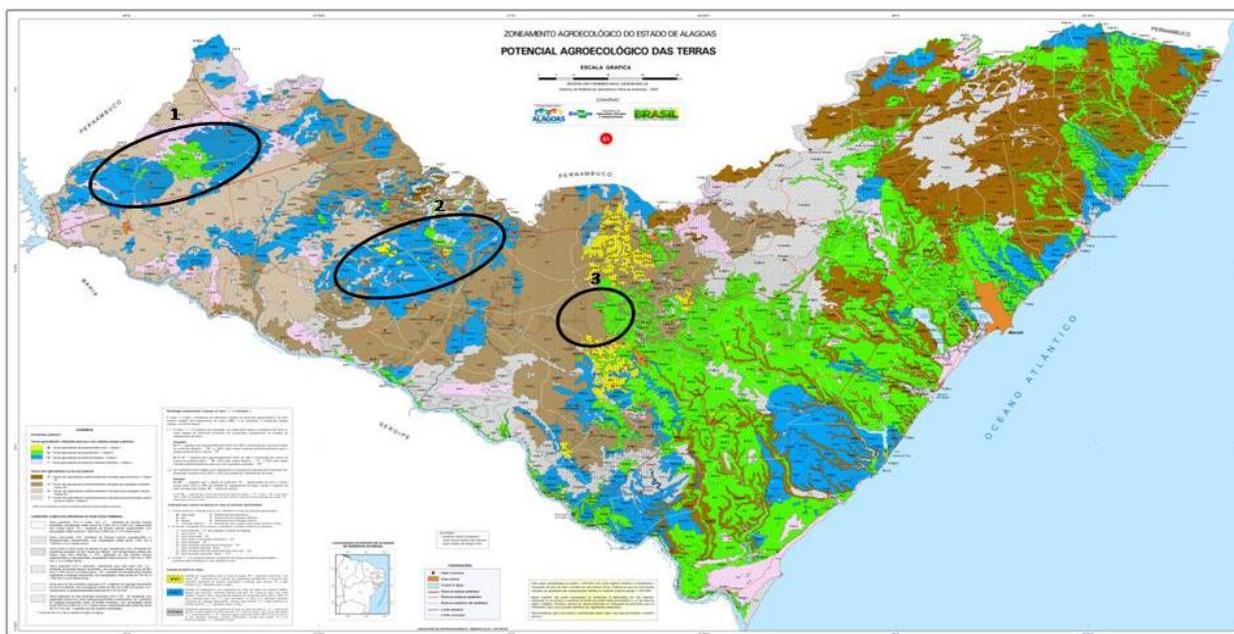
Branca, Canapi e Parte de Mata grande (1). Ao analisar as médias interanuais para a região, podemos observar um baixo índice pluviométrico com umidade do solo de até 45mm e apresentando vegetação com valores de até 0,6, embora a maior porção mostre valores menores de até 0,4. Entre o médio e baixo sertão (2) a área onde fazem parte os municípios de Carneiros, Santana do Ipanema, São José da Tapera, Olho D'água das Flores e Dois Riachos em 2014 apresentou em sua maioria potencial regular para a agricultura. Ao observar as médias interanuais pode-se notar que a precipitação varia entre 500 – 700 mm, quantidade de água retida no solo de até 45mm e uma variação entre 0,4 - 0,7 nos valores de NDVI. No Agreste, a região de Craíbas (3) apresenta áreas não agricultáveis e indicadas a pastagem e com bom potencial agrícola. Observando as médias interanuais podemos notar que a área também apresenta altos índices pluviométricos e boa umidade do solo, mas a vegetação apresenta baixos valores.

Figura 13. Relação do NDVI com a precipitação pluviométrica com a umidade do solo.



Fonte: Autora, 2023.

Figura 14. Potencial Agroecológico do Estado de Alagoas.

**POTENCIAL EDÁFICO****Terras agricultáveis: indicadas para uso com culturas anuais e perenes**

- M** – Terras agricultáveis de potencial Muito bom – Classe 1
- B** – Terras agricultáveis de potencial Bom – Classe 2
- R** – Terras agricultáveis de potencial Regular – Classe 3
- T** – Terras agricultáveis de potencial Temerário (Restrito) – Classe 4

Terras não agricultáveis ou de uso especial

- S** – Terras não agricultáveis preferencialmente indicadas para silvicultura – Classe 5S
- P** – Terras não agricultáveis preferencialmente indicadas para pastagem plantada – Classe 5P
- N** – Terras não agricultáveis preferencialmente indicadas para pastagem natural – Classe 5N
- F** – Terras não agricultáveis preferencialmente indicadas para preservação natural de flora e fauna – Classe 6

OBS: a cor foi aplicada no mapa em função da classe de potencial edáfico dominante.

Fonte: EMBRAPA, 2014.

6 CONCLUSÕES

A agricultura no semiárido enfrenta grandes desafios, principalmente devido a variação climática e condições do solo da região, o que tem como consequência baixos índices pluviométricos e diminuição do teor de água do solo.

O manejo agrícola inadequado é um dos principais fatores de degradação no semiárido. Neste estudo foi possível analisar variáveis agrometeorológicas para identificar áreas com as melhores condições ambientais para o desenvolvimento agrícola no semiárido alagoano que foi o objetivo desta pesquisa.

Os resultados obtidos mostraram-se satisfatórios, evidenciando a escassez de água no semiárido, o que resultou na resposta da vegetação. Com isso foi possível observar áreas degradadas em grande parte do semiárido.

No Agreste, a análise das três variáveis utilizadas neste estudo (Precipitação, umidade do solo e vegetação) evidenciou que a região tem as melhores condições agroclimáticas, com exceção principalmente do município de Craíbas, que embora apresente condições favoráveis de precipitação e umidade do solo, nota-se uma vegetação degradada que pode ser decorrente de atividades antrópicas.

No sertão, o Alto e médio sertão apresentou baixos índices de NDVI decorrente da escassez de água. A região do baixo sertão, que mostrou um potencial agrícola regular no zoneamento agrológico realizado pelo Embrapa em 2014 e apesar de também apresentar baixos valores de precipitação e umidade do solo, nota-se uma vegetação com melhores condições, o que pode ocorrer também devido a irrigação, se plantação ou devido a potencialidades de adaptação mesmo em condições de estiagem se vegetação nativa.

De forma geral, ao relacionar e analisar todas as variáveis, nota-se que as áreas com um melhor potencial agrícola estão localizadas principalmente no Agreste, no baixo sertão e parte do Médio sertão.

Um dos principais fatores da ocorrência de degradação do solo está na falta de monitoramento, de políticas públicas e mecanismos sustentáveis para gerenciamento de terras. Os estudos feitos podem ser uma contribuição para um melhor planejamento das atividades no semiárido alagoano e como base para trabalhos futuros, onde podem ser adicionadas outras variáveis.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATZOGLOU, J.T.; S.Z. DOBROWSKI, S.A.; PARKS, K.C. HEGEWISCH. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. **Scientific data**, v. 5, p. 170191, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191>. Acesso em 16/12/2023.

AB'SABER. Aziz Nacib. Problemática da Desertificação e da Savanização no Brasil Intertropical. Geomorfologia. São Paulo, n. 53, p. 1-20, 1977.

AMS. American Meteorological Society. Glossary of Meteorology, 2012. Associação Brasileira de Agroecologia, 2016. *Quem somos*. <http://aba-agroecologia.org.br/sobre-a-aba-agroecologia/sobre-a-aba/> Acesso em: 12/12/2023.

Ávila, L. F. Mello, C. R. de; Silva, A. M. da. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo na Bacia Hidrográfica da Serra da Mantiqueira. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.1257-1266, 2010.

BARBOSA H A; ERTUK A G, 2009. Índice de diário de vegetação estimado com imagens multiespectrais do satélite METEOSAT segunda geração. Anais XVI Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril de 2009, INPE, p. 5617-5624.

BARET, F.; SMETS, B.; LACAZE, R. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), SPOT/VGT. Product manual user. Version 1. 2015, 24p. LLOYD-HUGHES, B.; SAUNDERS, M. A.

CASTRO, C. N. de. A agricultura no nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento. Brasília, Rio de Janeiro: Ipea, 2012. 43 p.
CAPORAL, Francisco Roberto Agroecologia: alguns conceitos e princípios / por Francisco Roberto Caporal e José Antônio Costabeber; 24 p. Brasília : MDA/SAF/DATER-IICA, 2004.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil. Brasília, DF: 2016. 252p.

CGEE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil. Brasília, Distrito Federal: 252p. 2016.

COSTA, L. E. S.; SILVA, L. R. M.; BARBOSA, H. A.; SANTOS, T. V.; SANTOS, E. M.; SANTOS, A. M. S. **Mapeamento e análise de áreas degradadas no semiárido alagoano por meio de sensoriamento remoto**. Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural urbano. 2. ed., São Paulo, 418-432, 2020.

COSTA, Luiz Eduardo dos Santos. Avaliação do processo de desertificação nos municípios de Ouro Branco e Senador Rui Palmeira, no semiárido alagoano, a partir de sensoriamento remoto. 2023. 79 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

DECONTO, J. G. (Coord.). Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária: Unicamp, 2008. 82 p. il., color. Esta publicação foi produzida a partir do estudo “Aquecimento Global e Cenários Futuros da Agricultura Brasileira”, coordenado pelos pesquisadores Eduardo Assad e Hilton Silveira Pinto.

Disponível em: <https://glossary.ametsoc.org/wiki/Welcome>. Acesso em 19/12/2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas (ZAAL), 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnicas/-/produto-servico/1931/zoneamento-agroecologico-do-estado-de-alagoas-zaal>. Acesso em 16/12/2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Zoneamento Agroecológico, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-zoneamento-agroecologico/sobre-o-tema>. Acesso em: 23/12/2023.

FERRAZ, J. M. G.; SILVEIRA, M. A. da MULTIFUNCIONALIDADE DA AGRICULTURA E AGROECOLOGIA: GESTÃO INTEGRATIVA SOCIOAMBIENTAL DA PRODUÇÃO FAMILIAR, Embrapa, 2003.

Food and Agriculture Organization of the United Nation – FAO, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/home/en>. Acesso em: 23/12/2023.

GAMP. **Agrometeorological aspects of desertification**. Edição WMO nº134. 2010. Disponível em: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/gamp/gamp_en.php. Data de acesso: 10/12/2023

GUZMÁN, E. S. La participación en la construcción histórica latino-americana de la Agroecología y sus niveles de territorialidad. *Política y Sociedad*, 52 (2), p. 351-370, 2015. Acesso em 14/12/2023. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5164371>

HUANG, F.; WANG, P.; LIU, X. N. **Monitoring vegetation dynamic in horqin sandy land from spot vegetation time series imagery**. In: THE INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, 37, Part B7. Proceedings... Beijing, China, 2008. p. 915-920.

Hupet, F.; Vanclooster, M. Sampling strategies to estimate field areal evapotranspiration fluxes with a soil water balance approach. *Journal of Hydrology*, v.292, p.262-280, 2004.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Mapa de Biomas do Brasil**. Brasília, 2004.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Semiárido Brasileiro**. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estruturateritorial/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=sobre>. Acesso em: 29 de dez. de 2023.

IBGE. Censo populacional 2010. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo1.asp?z=t&o=3>. Acesso em: 08 de dez de 2019.

INSA. **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Editora Instituto Nacional do Semiárido. Campina Grande, PB, 2011.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Cambridge, Cambridge University Press, 2007. Disponível em: [/https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf). Acesso em: 10/12/2023.

IPCC, (Intergovernmental Panel Climate Changes). **Climate Change and Land: IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems** (P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)). In press. 2019.

JESUS JUNIOR, W. C.; MORAES, W. B.; COSMI, F. C.; JÚNIOR, R. V.; CECÍLIO, R. A.; ALVES, F. R.; VALE, F. X. R. Aquecimento global e o potencial impacto na agricultura In: XX Congresso Brasileiro de Fruticultura, 54th Annual Meeting of the Interamerican Society for Tropical Horticulture, Vitória, Espírito Santo, 2008

LASAPONARA, R. **Estimating interannual variations in vegetated areas of Sardinia island using SPOT/VEGETATION NDVI temporal series**. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, v. 3, n. 4, p. 481-483, 2006.

Ávila, L. F.; Mello, C. R.; Silva, A. M. da. **Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira**, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.12, p.1257–1266, 2010 Campina Grande, PB, UAEA/UFMG.

Li, B., Wang, L., Li, L., Seely, M.K., 2016. The impact of rainfall on soil moisture dynamics in a foggy desert.

Lin, H. S.; Wheeler, D.; Bell, J.; Wilding, L. Assessment of soil spatial variability at multiple scales. Ecological Modelling, v.182, n.3-4, p.271-290, 2005.

LIU, S.; WANG, T.; GUO, J.; QU, J.; AN, P. **Vegetation change based on SPOT-VGT data from 1998-2007**, northern China. Environ. Earth Sci., v. 60, p. 1459-1466, 2010. doi 10.1007/s12665-009-0281-4.

LOIOLA, M. I. B., et al. Caatinga: Vegetação do semiárido brasileiro. Revista Ecologia 4: 14-19, ISSN: 1647-2829, 2012.

MAPBIOMAS, 2022. **RELATÓRIO ANUAL DO DESMATAMENTO NO BRASIL**.

Disponível em:RAD2021_Completo FINAL Rev1.pdf.

NUNES, S. P. O desenvolvimento da agricultura brasileira e mundial e a ideia de desenvolvimento rural. DESER BOLETIM ELETRONICO CONJUNTURA AGRÍCOLA DEPARTAMENTO DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS DE ESTUDOS RURAIS Nº157, 2007.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: CERES, 1981.

PAREDES-TREJO, F. J.; BARBOSA, H. B.; LAKSHMI KUMAR, T. V.. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. *Journal of Arid Environments*. Vol. 139. Apr. 2017, p. 26-40.

PARKINSON, C. L. "Earth from above". University Sciences Books, Sansalito. Land vegetation, p.107- 111, 1997.

RAMALHO FILHO, Antonio. Zoneamento agroecológico, produção e manejo da cultura de palma de óleo na Amazônia / editores: Antonio Ramalho Filho et al. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. 216 p. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.abrapalma.org/pt/wp-content/uploads/2015/01/ABRAPALMA-Tudo-Sobre-Palma.pdf. Acesso em: 23/12/2023.

ROSA, M. P. ; SVARTMAN, Bernardo Parodi. Agroecologia e políticas públicas: reflexões sobre um cenário em constantes disputas. **Rev. psicol. polít.**, São Paulo, v. 18, n. 41, p. 18-41, abr. 2018. Disponível em <http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-549X2018000100003&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 12 dez. 2023.

ROUSE, J. W.; HAAS, J. A.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Earth Resources. Technology Satellite-1 Symposium, 3**, Washington D.C., 1973. Proceedings... Washington, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center, v. 1, p.309-317. (NASA SP-351).

SANCHEZ, R. O. Zoneamento Agroecológico: Objetivos, Conceitos Centrais e Aspectos Metodológicos. Cuiabá, Fundação de Pesquisas Cândido Rondon, 1989.

SCHENKEL, C. S.; MATALLO JUNIOR, H. (Org.). A Desertificação no mundo. Brasília, UNESCO, 2a. Ed. 2003. 80p.

Schneider, K.; Huisman, J. A.; Breuer, L.; Zhao, Y.; Frede, H. G. Temporal stability of soil moisture in various semi-arid steppe ecosystems and its application in remote sensing. *Journal of Hydrology*, v.359, p.16-29, 2008.

SMETS, B.; JACOBS T.; SWINNEN, E. **Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)**. Product user manual, version 2., 88p., 2015.

SOUSA, S. C. de. Avaliação da degradação/desertificação causada pelo uso e ocupação do solo em áreas dos Rios São Francisco (PE) e Jaguaribe (CE): propostas de recuperação. 2014. 373 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. Núcleos de desertificação no polígono das secas - nota prévia. In: ICB – UFPE, 1971, p. 69-73.

VICENTE L. E. **Séries temporais de NDVI do sensor SPOT Vegetation e algoritmo SAM aplicados ao mapeamento de cana-de-açúcar, 2012;** Embrapa Monitoramento por Satélite, Avenida Soldado Passarinho, nº 303, Fazenda Chapadão, CEP 13070-115 Campinas, SP.

VITO. **Data processing-vegetation system.** 2010a. Disponível em: . Data de acesso: 26/12/2023

VITO. **The Spectral responses-vegetation system.** 2010b. Disponível em: Data de acesso: 26/12/2023.

World Meteorological Organization (WMO), 2023. Disponível em <https://wmo.int/topics/drought>. Acesso em:10/12/2023.

Zhan, Z.; Qin, Q.; Wang, X. The application of LST/NDVI index for monitoring land surface moisture in semiarid area. IEEE Transactions on geosciences and Remote Sensing, v.3, p.1551-1554, 2004.

Zoneamento agroecológico do Estado do Rio de Janeiro / José Francisco Lumbrreras... [et al.]. - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 113 p. - (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 33). Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/458>. Acesso em 23/12/2023.