



**INSTITUTO
FEDERAL**
Pernambuco

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
PERNAMBUCO - IFPE**

Diretoria de Ensino – *Campus Recife*

Departamento Acadêmico dos Cursos Superiores – DACS

Coordenação de Geografia – CGEO

Curso de Licenciatura em Geografia

JOÃO VICTOR DA SILVA SENA

**TENDÊNCIAS DE VARIAÇÕES CLIMÁTICAS E SUSCETIBILIDADE À
DESERTIFICAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOXOTÓ**

Recife – PE

Dezembro de 2023

JOÃO VICTOR DA SILVA SENA

**TENDÊNCIAS DE VARIAÇÕES CLIMÁTICAS E SUSCETIBILIDADE À
DESERTIFICAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOXOTÓ**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – *Campus Recife*, como requisito para a obtenção do grau de Licenciado em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Eberson Pessoa Ribeiro

Recife – PE

Dezembro de 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

S474t
2024

Sena, João Victor da Silva.

Tendências de variações climáticas e suscetibilidade à desertificação na bacia hidrográfica do Rio Moxotó/ João Victor da Silva Sena. --- Recife: O autor, 2024. 82f. il. Color.

TCC (Curso de Licenciatura em Geografia) – Instituto Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

Inclui Referências.

Orientador: Professor Dr. Eberson Pessoa Ribeiro

1. Geografia. 2. Problema ambiental - desertificação. 3. Variação climática. 4. Rio Moxotó. I. Título. II. Ribeiro, Eberson Pessoa (Orientador). III. Instituto Federal de Pernambuco.

CDD 363.7 (22 ed.)

JOÃO VICTOR DA SILVA SENA

**TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS E SUSCETIBILIDADE À
DESERTIFICAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOXOTÓ**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – Campus Recife, como requisito para a obtenção do grau de Licenciado em Geografia.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e **APROVADO** em 28 de dezembro de 2023 pela Banca Examinadora:

Eberson Pessoa Ribeiro (IFPE/CGEO) – Orientador
Doutor em Geografia – UFPE

Geber Barbosa de Albuquerque Moura (UFRPE) – Examinador Externo
Doutor em Oceanografia – UFPE

Enildo Luiz Gouveia (IFPE/CGEO) – Examinador Interno
Doutor em Geografia – UFPB

Recife – PE

Dezembro de 2023

Á minha mãe, Silvania
E às minhas amigas, Maria Eduarda e Gisanne Melo

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a espiritualidade, principalmente ao meu Orixá Oxumaré por ter me fornecido a força, coragem e sabedoria para alcançar meus objetivos. Obrigado, meu pai. *Ahoboboy Osùmàré!*

À minha mãe, Silvania Maria da Silva Sena pelo amor, pela força, pela garra e por despertar minha curiosidade sobre o mundo, pois sempre acreditou e soube que eu seria um geógrafo, antes mesmo que eu tivesse essa certeza no meu coração. Obrigado por ter aceitado a árdua tarefa de ser mãe solo, e ter criado nós três com muito carinho e afeto.

Ao meu companheiro, Flavyson Henrique Ferreira Silva por ser minha fonte de inspiração todos os dias, por me incentivar, e pela oportunidade de partilhar as conquistas conjuntas e individuais, nessa fase de construção que estamos em nossas vidas. Também te agradeço pelo carinho, cuidado e amor que tens por mim! Obrigado por acreditar e confiar em mim, irei sempre retribuir da mesma forma.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eberson Pessoa Ribeiro pela paciência, pelo cuidado e pela oportunidade de trabalharmos juntos nesta pesquisa. Foi extremamente satisfatório assistir suas aulas de Climatologia e superar meus obstáculos em relação à disciplina. Obrigado por não desistir e guiar minha evolução até aqui.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - Campus Recife por ser uma segunda casa tão memorável e repleta do acolhimento que só uma mãe consegue ter.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão das bolsas para o Programa de Residência Pedagógica do IFPE – *Campus Recife*, pois foi muito necessário para ampliar os horizontes de futuros docentes, para que possamos aplicar nossas práticas de ensino-aprendizagem e obter experiências que levaremos para vida inteira.

A minha grande parceira de projetos e relatórios de campo, Gisanne Souza Melo. Tua amizade, teu carisma, tua gentileza, teu companheirismo e tua doçura são sentimentos que quero cultivar para a vida toda. Aprendi muito contigo. És fantástica e estás destinada a feitos maravilhosos na tua vida. Obrigado pelos incríveis momentos de diversão, e por todo o seu apoio mesmo quando todas as coisas pareciam impossíveis, nas questões acadêmicas e pessoais.

A minha tão querida amiga, Maria Eduarda Ferreira de Farias. Apesar da distância que nos separa momentaneamente quero que saiba que, fostes e sempre serás como uma irmã para mim. Tu és a luz que me guia dentro da escuridão. Te agradeço pelas incontáveis horas ao meu lado quando mais precisei, mas agradeço principalmente pela tua generosidade, teu carinho, teu cuidado, teus puxões de orelha, teus conselhos, tua garra e tua determinação. Como diria Melim: você é a razão da minha felicidade, não vá dizer que eu não sou sua cara metade.

Aos demais amigos e colegas da graduação, em especial a Carlos Alberto, Claudia, Fábio Mário, Evellyn, Sílvio, Lucas de Souza, Lizandro, Maria Vitória, Jhowan, Caio Maurício, Geyza. Vocês são as melhores pessoas do mundo, certamente levarei um pouco de vocês pela vida toda. Obrigado pela incrível amizade e jornada que tivemos nesse período. Sentirei muitas saudades de nossos aperreios, momentos e aulas de campo juntos.

Ao professor Marcelo Ricardo Bezerra de Miranda, pelas oportunidades de aprendizado ao participar de seus projetos de extensão, que sem sombra de dúvidas fazem parte do meu cotidiano como docente e levarei para a vida toda. Agradeço imensamente por despertar minha paixão pela educação das pessoas portadoras de deficiência visual, e por educação inclusiva em geral.

Ao professor Wedmo Teixeira Rosa, pelas aulas de TCC e por incentivar cada um de nós independente das situações adversas em que nos encontrávamos no final desse percurso.

Aos demais professores e professoras da Licenciatura em Geografia do IFPE, principalmente Clézia Aquino de Braga, Fernanda Guarany Mendonça Leite, Enildo Luiz Gouveia e Manuella Barbosa Vieira Neto. Obrigado por depositar em nós todas as esperanças em fortalecer a ciência geográfica. Nas universidades ou no ensino

básico sabemos que cumprimos com o dever que assumimos em garantir uma educação justa e igualitária para todos.

As escolas municipais, Complexo Educacional Pedro Serafim Neto, Escola Municipal Santo Cristo e Grupo Escolar Joaquim do Rêgo Cavalcanti, por serem grandes portas de entradas para o início de minha carreira docente. Agradeço todo o apoio recebido e por serem centros que acreditam que a educação é a chave para a mudança.

Aos professores que abriram as portas de suas respectivas salas, permitindo que eu pudesse exercer a docência, além da oportunidade e confiança depositada em mim para que pudesse assumir a docência enquanto estavam afastados(as). Sou eternamente grato por essa experiência maravilhosa com os alunos do ensino fundamental.

A todos os professores e professoras que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação.

A todos os professores e professoras que, por esse Brasil afora, tentam, por vezes, sob duras condições, fazer da aula de Geografia um encontro.

Muito obrigado!

“Foi o começo da vida de geógrafo: ler e interpretar a paisagem. Ter a noção da sequência dos cenários de um determinado espaço, passou a ser uma constante em toda a minha vida”.

Aziz Nacib Ab’Saber

RESUMO

A desertificação vem se constituindo como um dos mais desafiadores problemas ambientais da atualidade, sendo alvo de estudos que objetivam analisar e identificar sua origem, progressão, intensidade, variação espaço-temporal e classificação. As tendências climáticas e suscetibilidade à desertificação são preocupações ambientais do Estado de Pernambuco, deste modo se objetivou avaliar a variação do Índice de Aridez (IA) e a tendência a suscetibilidade à desertificação para a bacia hidrográfica do rio Moxotó. Para tal, buscou-se estimar a evapotranspiração potencial (ETP) mensal e anual, bem como analisar sua variabilidade espaço-temporal; determinar o índice de aridez, bem como identificar as áreas mais suscetíveis à desertificação; e verificar tendências de mudanças nos padrões climáticos do índice de aridez. Utilizaram-se valores médios mensais de precipitação da série histórica de 1989 a 2018 – dados obtidos de dezesseis (16) estações pluviométricas regidas pela Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC). Os dados médios de temperatura do ar, para o mesmo período e localidade das estações, foram obtidos por meio do *software Estima_T*. A partir do índice de aridez obteve-se a classificação climática e os níveis de suscetibilidade à desertificação para a bacia hidrográfica do rio Moxotó. Os resultados indicam a expressiva irregularidade espaço-temporal na distribuição dos parâmetros de temperatura do ar, ETP, precipitação e IA. A temperatura média do ar é de 24°C, apresentando aumento significativo com a chegada do verão (26°C), e variação em função da geomorfologia local; a evapotranspiração potencial está em torno de 1.271 mm, distribuídos de forma irregular, ao registrar valores proeminentes nas localidades que apresentam baixos acumulados de precipitação e temperaturas elevadas. A precipitação concentra-se nos primeiros meses do ano, reduzindo o total pluviométrico anual no sentido leste-oeste, avançando dessa forma a deficiência hídrica (DEF). Por fim, revelando que a bacia hidrográfica do rio Moxotó apresenta alta suscetibilidade ao processo de desertificação em função das características hidroclimáticas do geossistema semiárido.

Palavras-chave: Precipitação; Índice de Aridez; Variabilidade Climática.

ABSTRACT

Desertification has been one of the most challenging environmental problems in recent times, the subject of studies aiming to analyze and identify its origin, progression, intensity, space-time variation, and classification. Climatic trends and susceptibility to desertification are environmental concerns in the State of Pernambuco. Thus, the objective was to evaluate the variation in the Aridity Index (AI) and the tendency towards susceptibility to desertification for the Moxotó river basin. To achieve this, the monthly and annual potential evapotranspiration (PET) was estimated, and its space-time variability was analyzed. The aridity index was determined, identifying the areas most susceptible to desertification. Trends in changes in aridity index climatic patterns were also examined. Monthly average precipitation values from the historical series from 1989 to 2018 were used, obtained from sixteen (16) rainfall stations governed by the Pernambuco Water and Climate Agency (APAC). Average air temperature data for the same period and location of the stations were obtained using the Estima_T software. The aridity index classification and desertification susceptibility levels for the Moxotó river basin were obtained from the aridity index. The results indicate significant space-time irregularity in the distribution of air temperature, PET, precipitation, and AI parameters. The average air temperature is 24°C, showing a significant increase with the arrival of summer (26°C) and variation depending on the local geomorphology. Potential evapotranspiration is around 1,271 mm, irregularly distributed, with prominent values in areas with low precipitation and high temperatures. Precipitation is concentrated in the early months of the year, reducing the annual rainfall total from east to west, thereby advancing water deficiency (DEF). Finally, it is revealed that the Moxotó river basin is highly susceptible to the desertification process due to the hydroclimatic characteristics of the semi-arid geosystem.

Keywords: Precipitation; Aridity Index; Climatic Variability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Moxotó	32
Figura 2 – Climograma da bacia hidrográfica do rio Moxotó	37
Figura 3 – Mapa da precipitação anual da bacia hidrográfica do rio Moxotó	41
Figura 4 – Mapa da precipitação mensal da bacia hidrográfica do rio Moxotó	43
Figura 5 – Mapa da precipitação dos anos secos, habituais e chuvosos	45
Figura 6 – Mapa de deficiência hídrica da bacia hidrográfica do rio Moxotó	46
Figura 7 – Mapa da temperatura média anual do ar (°C) da bacia do rio Moxotó	48
Figura 8 – Mapa da temperatura média mensal do ar (°C) da bacia hidrográfica do rio Moxotó	50
Figura 9 – Mapa de evapotranspiração potencial (ETP) da bacia hidrográfica do rio Moxotó	51
Figura 10 – Gráfico de precipitação, evapotranspiração (ETP), temperatura, Índice de Aridez (IA) e tendências	54
Figura 11 – Mapa do Índice de Aridez da bacia hidrográfica do rio Moxotó	57
Figura 12 – Mapa do Índice de Aridez (IA) dos anos secos, habituais e chuvosos	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Matriz dos sistemas de indicadores utilizados pela literatura	29
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estações pluviométricas utilizadas nesta pesquisa	33
Tabela 2 – Classificação Climática utilizando o Índice Aridez	35
Tabela 3 – Classificação quanto ao nível de suscetibilidade à desertificação	35
Tabela 4 – Categorização quanto ao grau de deficiência hídrica	35
Tabela 5 – Precipitação, evapotranspiração, temperatura média anual e índice de aridez para as estações pluviométricas dos municípios que compõem a bacia hidrográfica do rio Moxotó	53
Tabela 6 – Classificação climática e de suscetibilidade à desertificação a partir do Índice de Aridez (IA) para as estações pluviométricas analisadas	58
Tabela 7 – Classificação climática e de suscetibilidade à desertificação a partir do Índice de Aridez (IA) para a bacia hidrográfica do rio Moxotó	61

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Climas

ATSM – Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar

BHC – Balanço Hídrico Climatológico

BHESF – Bacia Hidrográfica Estendida do Rio São Francisco

Cb - Cumulusnimbus

CCM – Complexos Convectivos de Mesoescala

CE - Ceará

DCG – Departamento de Ciências Geográficas

DEF – Deficiência Hídrica

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ENOS – *El Niño* Oscilação Sul

ET - Evapotranspiração

ETP – Evapotranspiração Potencial

EUA – Estados Unidos da América

f – Fator de Correção

FF – Frentes Frias

GI – Grupo de Bacias Pequenos Rios Interiores

I – Índice de Calor Anual

IA – Índice de Aridez

IAC – Índice de Anomalias de Chuvas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDW - *Inverse Distance Weighting*

IPCC – *Intergovernmental Panel of Change Climatic*s

Km - Quilômetros

LVR – *Lower Virgin River*

m - Metros

mm – Milímetros

NEB – Nordeste do Brasil

NOAA – *National Oceanic Administration of Atlantic*

O - Oeste

Org. - Organizadores

ONI – *Oceanic Niño Index*

ONU – Organização das Nações Unidas

P – Precipitação

PE - Pernambuco

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

RMR – Região Metropolitana de Recife

S - Sul

SAB – Semiárido do Brasil

SE - Sergipe

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

t – Temperatura Média Mensal

TSM – Temperatura de Superfície do Mar

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

UNCCD – *United Nations Convention to Combat Desertification*

UNCOD - *United Nations Conference on Desertification.*

UNESCO - *United Nations, Educational, Scientific and Cultural Organization*

UP – Unidade de Planejamento Hídrico

VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos	19
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	19
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL	20
2.1 Suscetibilidade ambiental	20
2.2 Conceito de desertificação	21
2.3 Questão climática do fenômeno de desertificação	24
2.4 Conceitos e características de aridez	26
2.5 Indicadores de desertificação	28
2.6 Índice e Aridez (IA)	30
3 MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1 Localização da área de estudo	32
3.2 Base climatológica	33
3.3 Base cartográfica	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	62
REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

O semiárido nordestino sofre com baixos acumulados pluviais e eventos cíclicos de secas intensas, caracterizadas por um *déficit* de precipitação durante um período prolongado. Entretanto, em algumas localidades, o problema não é o total anual de precipitação pluviométrica, e sim as irregularidades espaço-temporais na distribuição de chuvas durante o ano e as elevadas taxas de evapotranspiração potencial (ETP) (Marengo *et al.*, 2016; Abreu, 2018; Martins *et al.*, 2018a, 2018b).

A disponibilidade hídrica da região está totalmente condicionada às interações da interface oceano-atmosfera observadas nos Oceanos Pacífico e Atlântico. Grande parte da variabilidade interanual é modulada pelos sistemas produtores de tempo, principalmente por anomalias de temperatura da superfície do mar (TSMs), a exemplo das fases quente (*El Niño*) e fria (*La Niña*) do *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) e pelo Dipolo do Atlântico, que favorecem ou desfavorecem as atividades convectivas (Kayano, 2016; Alves, 2016; Medeiros *et al.*, 2018; Timmermann *et al.*, 2018; Escobar, 2019; Kelley *et al.*, 2020).

Outra variável que afeta essa disponibilidade hídrica é a evapotranspiração potencial (ETP), a qual compreende o processo de transferência de água para a atmosfera a partir da máxima evaporação e disponibilidade de umidade da superfície do solo, bem como da transpiração da vegetação em determinadas áreas, sendo estimada com base na temperatura média do ar. Esse processo afeta a dinâmica climática do semiárido nordestino, uma vez que devido ao *déficit* de umidade, valores elevados de ETP desencadeiam o aumento da temperatura da superfície do solo (Cabral Júnior; Bezerra, 2018; Al-Kulabi, 2022).

A precipitação e a evapotranspiração (ET) são de suma importância para a composição do hidroclima local e global. A variabilidade da ET influencia a precipitação, disponibilidade hídrica e a temperatura da superfície do solo. Portanto, compreender sua magnitude e mudanças a longo prazo em um contexto de mudanças climáticas, serve de base para estudos sobre o aumento de condições de seca e agravamento do processo de desertificação em regiões áridas e semiáridas (Zhang, *et al.*, 2016; Jin *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2020; Rocha Júnior *et al.*, 2020).

Essas características hidroclimáticas expõe áreas que apresentam um quadro geoambiental suscetível ao processo de desertificação. Inicialmente, o termo suscetibilidade pode ser compreendido como a base física do espaço (elementos físicos presentes no ambiente), naturalmente predisposta às perturbações ambientais, cuja interação promove à ocorrência de danos suplementares. Os estudos sobre suscetibilidade têm sido aplicados para analisar o comportamento de uma região diante de condições de estresse ambiental (Olita *et al.* 2019; Santos, 2020).

As *drylands* (terras áridas, semiáridas e subúmidas secas) são importantes pontos de pesquisa terrestre, onde ocorrem múltiplos processos de troca de matérias e energia, caracterizados por grande evapotranspiração e precipitação altamente variável. Os geossistemas de terras áridas são ecologicamente mais frágeis e sensíveis às alterações climáticas do que outros geossistemas terrestres (Huang *et al.*, 2017; Pravýalie *et al.*, 2019)

Diante do exposto, diagnósticos ambientais têm revelado que a bacia hidrográfica do rio Moxotó apresenta restrições às demandas hídricas locais, devido principalmente a instabilidade das precipitações, proeminentes valores de evapotranspiração local e baixa capacidade de retenção hídrica pelos solos. Esses elementos agravam a disponibilidade hídrica e pressupõe traços do processo de desertificação ao favorecer agentes erosivos, desencadeamento de salinização dos solos e agravamento da aridez local (Accioly, 2010; Belfort; Barbosa; 2011; Alves, 2016; Garcia, 2018).

Santos (2016, p. 471) estabelece que a “desertificação constitui um processo complexo, no qual a espiral de maior aridez, menor disponibilidade de água e nutrientes, e perda da biodiversidade definem sua consolidação”. Para Gendre (2023) o processo de desertificação ocorre quando as terras férteis, que apresentam potencial biológico em condições áridas e semiáridas, passam por processos de degradação ambiental e tornam-se mais secas, alterando seu grau de aridez e desencadeando a transição para um ambiente com características desérticas.

Pesquisas acerca do processo de desertificação são importantes para identificar as características espaço-temporais desse fenômeno. Se faz necessário avaliar sua gênese e intensidade, uma vez que é um fenômeno de ocorrência global, visto que as áreas hiperáridas, áridas, semiáridas e subúmidas secas englobam

aproximadamente 41% da superfície terrestre, abrigando cerca de um terço da população mundial (Feng; Fu, 2013; Briassoulis, 2019; Akbari *et al.*, 2020). A bacia hidrográfica do rio Moxotó se enquadra nessas características mencionadas e por essa razão foi o *locus* desta pesquisa, na qual foram traçados objetivos e metodologias específicas para estudos das tendências climáticas e suscetibilidade à desertificação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

- Avaliar a variação do índice de aridez e a tendência a suscetibilidade à desertificação para a bacia hidrográfica do rio Moxotó.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estimar a evapotranspiração potencial mensal e anual, bem como analisar sua variabilidade espaço-temporal;
- Determinar o índice de aridez para a bacia hidrográfica do rio Moxotó; bem como identificar as áreas mais suscetíveis à desertificação;
- Verificar tendências de mudanças nos padrões climáticos do índice de aridez;
- Espacializar o índice de aridez e a suscetibilidade à desertificação para a média histórica analisada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

2.1 Suscetibilidade ambiental

A etimologia da palavra suscetibilidade vem do latim *susceptibilitas*, por sua vez flexão de *susceptus*, que dentre as variadas interpretações de seu significado corresponde a uma sensibilidade física frente às influências externas, ou seja, uma reação a qualquer agente físico (Suscetibilidade, 2023). Do ponto de vista geoambiental, o conceito de suscetibilidade pode ser compreendido como o potencial, ou seja, a sensibilidade que um geossistema possui para vir a ser afetado por um determinado fenômeno físico. Pode-se afirmar, por exemplo, que as planícies de inundação são suscetíveis às inundações, as áreas com grandes altitudes são suscetíveis aos movimentos de massa e as falésias são suscetíveis ao processo de erosão (Girão; Rabelo; Zanella, 2018; Amaro, 2021).

Araújo e Lima (2019) e Marengo *et al.* (2011) compreendem a área do semiárido nordestino como uma região onde se localizam as áreas com maior suscetibilidade ao processo de desertificação, em função da existência de secas severas e mudanças na paisagem. Em Almeida (2010) e Santos (2020) esta suscetibilidade biofísica é reflexo de uma situação na qual existe desvantagem do meio físico em relação às variações climáticas, o que predispõe a região a sofrer com danos suplementares.

O semiárido nordestino é considerado suscetível ao processo da desertificação, pois possui características físicas que potencializam e o tornam predisposto a tal processo, principalmente do ponto de vista climático (Abreu, 2018; Lima, 2019). As temperaturas elevadas, as baixas precipitações e/ou concentradas ao longo do ano, o elevado índice de evapotranspiração potencial (ETP) e a ocorrência de secas temporárias, intensificam a suscetibilidade à desertificação (Medeiros *et al.*, 2018).

A região é marcada por uma grande irregularidade espaço-temporal de precipitações pluviométricas, em grande parte decorrente dos sistemas produtores de

tempo atuantes, que influenciam diretamente a dinâmica climática local, além de possuir solos litólicos com reduzida capacidade de retenção hídrica, e por ventos quentes e secos, estimuladores da evaporação (Conti, 2010; Soares, 2012). Em conformidade, Garcia (2018) afirma que a variabilidade climática de uma região tende a intensificar o seu grau de suscetibilidade.

O estado de Pernambuco possui cerca de 80% do seu território no contexto do clima semiárido, o que se traduz em evapotranspiração potencial elevada, escassez de água, solos predominantemente rasos e suscetibilidade ao processo de desertificação. Neste último caso, compreende-se que o semiárido pernambucano é suscetível por possuir um forte impulsionador biofísico do processo de desertificação, o clima (Briassoulis, 2019; Pernambuco, 2020).

Por fim, a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) em seu relatório final para determinação da nova delimitação do semiárido, qualifica o Nordeste do Brasil (NEB), principalmente o sertão nordestino, como área suscetível a escassez hídrica, uma vez que as precipitações representam índices inferiores a 800mm/anuais e a deficiência hídrica (DEF) é superior a 60% todos os dias do ano (SUDENE, 2021).

2.2 Conceito de desertificação

Diante da falta de consenso científico, “em meio a mais de 100 definições, a respeito do conceito de desertificação” (Briassoulis, 2014, p. 138-145), elencaram-se os conceitos mais relevantes a esta pesquisa, pois Briassoulis (2019) estabelece que a desertificação é representada de forma multidisciplinar e multiescalar em questões conceituais.

As primeiras menções ao termo desertificação surgem nos escritos do botânico francês André Aubréville, em seu livro *Climats, forêts et désertification de l’Afrique tropicale* (Climas, florestas e desertificação na África tropical), no qual caracteriza a região da África conhecida como Sahel/Sael. O pesquisador observou que esta região semiárida localizada entre o Deserto do Saara, ao norte, e as Savanas do Sudão, ao

sul, sofria com um longo período de seca severa que estava desencadeando a expansão das fronteiras do deserto (Aubréville, 1949).

Entretanto, cientistas apontam que o processo de desertificação teria seu marco iniciado entre os anos de 1934 e 1936, quando ocorre o fenômeno conhecido como *Dust Bowl*, em tradução livre 'taça de pó', na região do meio oeste estadunidense. Esse fenômeno foi resultado de condições climáticas mais secas em conjunto com uma exposição do solo devido ao seu manejo inadequado, sendo assim o ressecamento do solo favoreceu a erosão eólica (Barreto; Cezário; Oliveira, 2019).

Ambos os casos podem ser definidos pela origem etimológica do nome desertificação, do latim *deserte facere*, que significa fabricar ou tornar um deserto (Nascimento, 2006). Portanto, Matallo Júnior (2009) compreende que a desertificação constitui o processo de transformação de regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas resultantes de mudanças climáticas e manejo inadequado dos recursos naturais.

Cabe ressaltar que existe diferença entre seca e desertificação. A desertificação constitui um processo espaço-temporal cumulativo e duradouro de alteração da paisagem geoambiental, por outro lado, a seca é caracterizada por sua ocorrência esporádica, adaptativa e natural, sendo assim se configura como um fenômeno reversível (Barreto; Cezário; Oliveira, 2019).

A Lei 13.153 de 30 de julho de 2015 instituiu a Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, onde prevê em seu Art. 2º parágrafo X a compreensão de que a seca é um "fenômeno que ocorre naturalmente quando a precipitação registrada é significativamente inferior aos valores normais, provocando um sério desequilíbrio hídrico que afeta negativamente os sistemas de produção e de consumo" (Brasil, 2015, ?).

Sidiropoulos *et al.* (2021) chamam a atenção para diferenciar áreas em desertificação e áreas desérticas. Ainda que o argumento 'formação de desertos' seja evidente para explicar o fenômeno de desertificação, o conceito de deserto difere de desertificação por "remeter à ideia de um tipo de clima e supõe um sistema natural adaptado, com características e limites espaciais definidos" (Conti, 2008, p. 42)

Conforme a *United Nations Conference on Desertification* (UNCOD), realizada em Nairóbi, Quênia, o processo de desertificação pode ser entendido como:

A diminuição ou destruição do potencial biológico da terra, que pode finalmente conduzir a condições desérticas. É um aspecto da deterioração generalizada dos ecossistemas, e diminui ou destrói o potencial biológico da terra [...], é um processo de autoaceleração, alimentando-se de si (UNCOD, 1977, p. 88).

No Brasil, o ecólogo Vasconcelos Sobrinho foi pioneiro em elaborar estudos sobre a temática da desertificação ao estabelecer os locais mais suscetíveis a este processo, locais estes que ficaram conhecidos como Núcleos de Desertificação. O pesquisador afirma que o potencial que a região semiárida do Nordeste do Brasil (NEB) possui para se transformar ou se assemelhar a um deserto era visível a partir do equilíbrio instável que a região apresenta no que diz respeito às questões climáticas (Vasconcelos Sobrinho, 2002).

Nos termos da legislação brasileira enfatiza-se que:

A degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas, sendo que por degradação da terra se entende a degradação dos solos, dos recursos hídricos, da vegetação e a redução da qualidade de vida das populações afetadas (Brasil, 1996, p. 113).

De acordo com Vasconcelos Sobrinho (1978), a desertificação está ligada ao empobrecimento dos solos, a fragilidade dos ecossistemas das terras secas e perda da capacidade produtiva e de renovação desses ecossistemas, representado por uma mudança contínua e perdurável das condições geoambientais. Em Feng e Fu (2014) a desertificação representa a expansão das terras áridas e semiáridas, em função da mudança na aridez global, devido à escassez hídrica e a degradação da terra.

Para Al-Kulabi (2022) o processo de desertificação pode ser caracterizado como a deterioração total ou parcial de um, ou mais aspectos dos ecossistemas terrestres, resultando na perda de suas características, e na redução do potencial de regeneração. Para o pesquisador a desertificação está ligada ao ciclo da água, uma vez que, ao ocorrer uma alteração dos padrões de precipitação neste ciclo, a temperatura do solo tende a aumentar devido à escassez de umidade, conseqüentemente a taxa de evapotranspiração potencial (ETP) aumenta.

Para Pimm e Rafferty (2019) a desertificação representa um fenômeno através do qual causas naturais ou humanas reduzem o potencial biológico e o potencial

produtivo das chamadas *drylands* (terras áridas, semiáridas e subúmidas secas), resultante de mudanças climáticas, não representando a expansão física dos desertos, mas sim transformando o ambiente em uma área com características mais áridas.

No entanto, existem discussões (Sterk; Stoorvogel, 2020; Cruz Neto *et al.*, 2021) que questionam se a desertificação representa um processo complexo (com múltiplas variáveis) que progressivamente se consolida ou se representa o resultado definitivo. Todavia, o fato comum compreendido é que a desertificação constitui um processo ambiental adverso, resultante de condições desérticas duradouras (Sterk; Stoorvogel, 2020).

2.3 Questão climática do fenômeno de desertificação

Paulatinamente, múltiplos estudos internacionais (Feng; Fu, 2013; Olsson *et al.*, 2015; Briassoulis, 2019; Akbari *et al.*, 2020; Sidiropoulos *et al.*, 2021) passam a ser realizados com o intuito de compreender e avaliar o processo e as características da desertificação. A priori, os estudos levaram em consideração o empobrecimento dos solos e a sua conseqüente degradação como um dos principais fatores relacionados ao processo de desertificação, em um período em que o conceito de desertificação começara a surgir (D'odorico *et al.*, 2013; Briassoulis, 2014, Davis, 2016).

Entretanto, as discussões mais recentes enfatizam a questão das mudanças climáticas como fator associativo para a intensificação do fenômeno de desertificação (Accioly *et al.*, 2019). Em concordância com esta afirmação, informações ligadas tanto às mudanças climáticas, como também das possíveis conseqüências, podem ser analisadas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), que é uma entidade científica e intergovernamental referenciada mundialmente no tocante aos assuntos relacionados às mudanças climáticas (IPCC, 2014; 2018; 2022).

As projeções futuras divulgadas pelos relatórios do IPCC chamam a atenção da comunidade científica internacional para a ocorrência de variabilidades climáticas.

Tais ocorrências possuem forte tendência a impactar os ciclos hidrológicos em escala global, uma vez que as simulações e projeções futuras são elaboradas com base nas modificações de umidade e temperatura da atmosfera terrestre, acarretando a elevação média da temperatura do ar e alterações dos padrões de precipitação em todo o planeta (IPCC, 2014; 2018; 2022; Silva *et al.*, 2020).

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) a escassez e a diminuição da disponibilidade hídrica são, notoriamente, os primeiros impactos observados na correlação entre as mudanças climáticas e o processo de desertificação, visto que as terras secas são altamente sensíveis a mudanças nos padrões de precipitação e evapotranspiração. O IPCC orienta a observação e estabelece estado de alerta para uma tendência de diminuição na precipitação intensa, aumentando significativamente os déficits hídricos e a aridez em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas (IPCC, 2022).

Em projeções realizadas por Takeshima *et al.* (2020), em que foram avaliadas mudanças na aridez global, diferenças de energia da superfície e Balanço Hídrico Climatológico (BHC) para cenários projetados de aquecimento entre 1,5°C e 2°C, observou-se alteração no hidroclima a partir do aumento de ocorrência de anos extremamente secos, constatando secas intensas e significativas, bem como o aumento de temperaturas do ar extrema nesses cenários. Pesquisas alertam que o aquecimento do clima aumenta a evapotranspiração e o déficit hídrico ao longo do ano, sem reposição hídrica (Chu *et al.*, 2010; Schmidt; Lima; Jesus; 2018).

O significativo esgotamento das águas superficiais e subterrâneas representam um risco de desertificação mais elevado, devido à possibilidade de redução do fluxo de águas em importantes bacias hidrográficas (Magalhães, 2016; Sidiropoulos *et al.*, 2021). A exemplo, Chen, Tong e Yang (2015) analisaram a bacia hidrográfica do *Lower Virgin River* (LVR), tributário do *Colorado River*, localizado à montante do Lago Mead, Nevada, Estados Unidos (EUA), observando que as mudanças climáticas afetaram a hidrologia da bacia hidrográfica com alteração no ciclo hidrológico, principalmente, por se localizar em uma região semiárida dos Estados Unidos da América.

Mutti *et al.* (2020) analisaram o Balanço Hídrico Climatológico (BHC) ao longo do rio São Francisco, do qual o rio Moxotó é tributário, a fim de compreender o

comportamento dos padrões de precipitação. Ressalta-se que o comportamento da evapotranspiração potencial (ETP) e do ciclo hidrológico são essenciais na análise de cenários de mudanças climáticas. Com isto, concluiu-se que o aumento da ETP fez com que houvesse diminuição de chuvas ao longo do rio São Francisco, em sua porção semiárida.

Santos e Galvício (2013) realizaram estudos sobre cenários de suscetibilidade a desertificação ao mapear trinta municípios do estado de Pernambuco, levando em consideração as características naturais locais e características em projeções de mudanças climáticas. Concluíram que existe domínio de moderada a alta suscetibilidade até 2050 do ponto de vista natural com ênfase nas mudanças climáticas.

Nóbrega *et al.* (2022) analisaram o impacto das mudanças climáticas na aridez da bacia hidrográfica estendida do rio São Francisco (BHESF), no período de 1951 a 2020, objetivando analisar a aridez em cenários de mudanças climáticas, através das precipitações e temperaturas do ar. Concluíram que houve aumento espacial e magnitude de aridez em todas as regiões, sinalizando aumento das possíveis zonas com clima árido na região Nordeste do Brasil. Salienta-se que as projeções fazem valer sob a perspectiva de que não existem medidas para modificar o clima, apenas estabelecer métodos de correção ou prevenção (Barros, 2010).

2.4 Conceitos e características de aridez

A origem etimológica da palavra aridez vem do latim *aridus*, por sua vez flexão de *aridez* e *arere*, que dentre as variadas interpretações de seu significado se refere à observação do estado atmosférico em localizações que apresentam a precipitação anual inferior à evaporação, demonstrando, portanto, a qualidade daquilo que é seco, que não possui umidade (Aridez, 2023).

A maioria das acepções de aridez está relacionada ao clima (Nicholson, 2018). De acordo com Greve, Roderick e Seneviratne (2017) a aridez representa o grau em que um clima necessita de umidade para sustentar a vida nos ecossistemas terrestres.

O pesquisador diferencia o conceito de aridez do conceito de Índice de Aridez (IA) ao se referir ao primeiro como o termo comum ao qual se descreve o estado hidroclimatológico da superfície terrestre, enquanto o IA representa o valor quantificado para caracterizar esse estado hidroclimatológico.

A aridez é caracterizada pela diminuição da disponibilidade de água em uma região. Ao contrário da seca, que é um evento cíclico temporário e de curto prazo que pode ocorrer em vários climas, a aridez é um fenômeno climático de longo prazo e permanente do regime climático de uma região (Araghi *et al.*, 2018; Proutsos *et al.*, 2021; Tegos *et al.*, 2023). A estimativa de ETP é um parâmetro chave para a avaliação de classificações climáticas e bioclimáticas confiáveis de aridez (Proutsos *et al.*, 2021).

Em Whitford e Duval (2019) a aridez é definida como a relação entre a precipitação (P) e a evapotranspiração potencial (ETP). Segundo os autores, as causas e características da aridez da superfície terrestre podem estar relacionadas com a latitude, a distância dos oceanos (continentalidade), as localizações próximas a cadeias montanhosas ou estar próximo de correntes oceânicas frias.

Para Kashyap (2021) a aridez poderia ser basicamente compreendida como uma comparação entre o abastecimento e a perda de água em um ecossistema terrestre. As causas da aridez podem ocorrer de formas individuais ou combinadas (sistemas atmosféricos, precipitação, temperatura do ar), esta necessidade de umidade da superfície terrestre pode ser estimada pelo uso de dados climatológicos.

O grau de aridez de uma *dryland* para outra é bastante variável, existindo diferentes tipos, influenciadas pela extrema imprevisibilidade das chuvas, onde algumas são classificadas como hiperáridas, chove abaixo de 100mm/anuais ou não chove; enquanto em outras são consideradas apenas áridas, com chuvas esporádicas; as semiáridas, onde existe uma curta estação úmida com precipitação entre 500 e 800mm/anuais, como observado no semiárido do Nordeste do Brasil; e ainda há aquelas chamadas subúmidas secas, como as Savanas (Evans, 2021; UNCCD, 2022).

Nos estudos de Thornthwaite (1941; 1948) a determinação de regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas é realizada por meio do Índice de Aridez (IA), calculado

pela razão entre a precipitação média anual e a evapotranspiração total anual (P/ETP). Para Schenkel (2003) e Matallo Júnior (2003), quanto maior for o potencial de uma região em apresentar características de aridez, maior será sua predisposição a desertificação.

2.5 Indicadores de desertificação

De acordo com Araújo e Lima (2017) os indicadores, em conjuntos ou em sistemas, são utilizados para analisar, quantificar ou mensurar um processo ou fenômeno natural, podendo ser classificados de acordo com sua finalidade, considerando que para Araújo e Lima (2019, p. 27) os indicadores “preveem um rol de informações sobre a vitalidade do complexo geoambiental”. O critério adotado para utilização de um indicador, objetivando interpretar um fenômeno, deve-se pautar na clareza e simplicidade; possuir significado próprio; ser quantificável; e possuir sensibilidade a alterações temporais, mostrando tendências. Além de possuir necessariamente sentido espaço-temporal específico (Schenkel, 2003; Zhang *et al.*, 2020).

Brandt e Geeson (2008) enfatizam que os indicadores servem para indicar algo, ou seja, a possibilidade de algum fenômeno ocorrer. Os pesquisadores elencam que um bom indicador tem por essencialidade ser específico ao fenômeno, mensurável, atingível, relevante e possuir um tempo-limite (ser específico para determinado período espaço-temporal). Sousa (2014, p. 27) estabelece que dentre as funções dos indicadores estão: “avaliar condições ou tendências; comparar regiões ou situações; fomentar informações preventivas e antecipar condições e tendências futuras”.

A variável do indicador, no caso a aridez, deve ser utilizada para quantificar e explicar o fenômeno estudado. Os indicadores devem apresentar as seguintes características: serem 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 (Sousa, 2014).

Para tanto, a forma de entender e diagnosticar as possíveis causas e consequências tem sido o estabelecimento de indicadores dos processos (Matallo Júnior, 2001). No que diz respeito à caracterização metodológica dos sistemas de indicadores e à capacidade de avaliação do processo de desertificação no SAB, verifica-se uma diversidade expressiva de indicadores (Quadro 1):

Quadro 1: Matriz dos sistemas de indicadores utilizados pela literatura.

Categoria	Tema	Indicador	Método
Geobiofísicos	Geologia, Relevo, Cobertura vegetal, Solos, Clima	Litotipos/Permeabilidade; Declividade/Topografia; Classes de vegetação e conservação; Estratificação; Espessura; Erosão; Vulnerabilidade a perda de solo; Zonação climática; Índice de Aridez; Vulnerabilidade às secas.	Mapeamento cartográfico; Geoprocessamento; Trabalho de campo; Literatura especializada; Mensuração de dados meteorológicos
Espectrais	Cobertura vegetal, Solos, Clima	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; Índice de Área Foliar; Índice de Textura do Solo; Índice de Umidade; Albedo; Saldo de radiação; Fluxo de calor no solo.	Geoprocessamento de imagens de satélite, checagem em campo e análise estatística
Socioeconômicos	População, Acesso à água, Posse de terra, Pobreza, Saúde, Renda	Densidade demográfica; Captação de água; Estrutura fundiária; Matriz energética; Taxa de analfabetismo; Índice de GINI; PIB <i>per capita</i> ; Taxa de desocupação	Dados censitários e institucionais a nível nacional, regional e local
Climáticos	Clima	Índice de Aridez (IA). Precipitação Padronizada (IPP)	Razão entre Precipitação e Evapotranspiração; Séries históricas mensais com 50 anos de precipitação.
Agropecuários	Uso da terra	Uso do solo agrícola; Pecuária; Estrutura agrícola; Extrativismo vegetal; Carga animal; Agricultura temporária; Ocorrência de incêndio.	Dados censitários agropecuários; Dados institucionais locais; Mapa de densidade de Kernel.

Fonte: Adaptado de Souza *et al.*, (2022).

Os indicadores e índices de desertificação propostos são diversos, cada um com suas particularidades. Dessa maneira, os indicadores “são vistos sob pontos de vista limitados em termos de representação espacial e temporal”. Ressalta-se que para a identificação do processo de desertificação, deve-se fazer uso de indicadores que permitam não só a identificação como também o monitoramento ao longo do tempo das áreas onde os processos ocorrem (Carvalho, 2001, p. 1539). Marengo e Bernasconi (2015) investigaram o fenômeno de desertificação em regiões semiáridas do Nordeste do Brasil (NEB) a partir da utilização do Índice de Aridez.

2.6 Índice de Aridez

O Índice de Aridez (IA) foi adotado baseado na metodologia desenvolvida por Thornthwaite (1948) e ajustado posteriormente por Penman (1953). O IA leva em consideração a pluviosidade e a perda máxima possível de água pela evaporação e transpiração. A utilização deste cálculo, ou seja, a razão obtida entre a precipitação média anual e a evapotranspiração total anual (P/ETP), passa a ser aplicável com base na aceção de que a evapotranspiração é parâmetro determinante de um clima (Souza, 2004; Aschonitis *et al.*, 2021; Proutsos *et al.*, 2021).

A fórmula de Thornthwaite (1948) é amplamente aceita e referenciada pela *United Nations Convention to Combat Desertification* (UNCCD), *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) e Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) para aplicações em larga escala de evapotranspiração potencial e avaliação de aridez em diferentes climas e paisagens (Aschonitis *et al.*, 2021).

Rocha *et al.* (2020) investigaram a microrregião do Alto Capibaribe – PE com base em Índices de Aridez (IA), visando avaliar a suscetibilidade a desertificação e a deficiência hídrica. Já França *et al.* (2020) observaram a variabilidade dos Índices de Aridez no município de Amparo de São Francisco – SE, para a série histórica de 1963 a 2019, tendo como meta mitigar eventos extremos de escassez. Enquanto autores como Silva *et al.* (2019) realizam análises sobre o Índice de Aridez para a bacia do rio Ipojuca – PE objetivando estudar as oscilações do IA interanual.

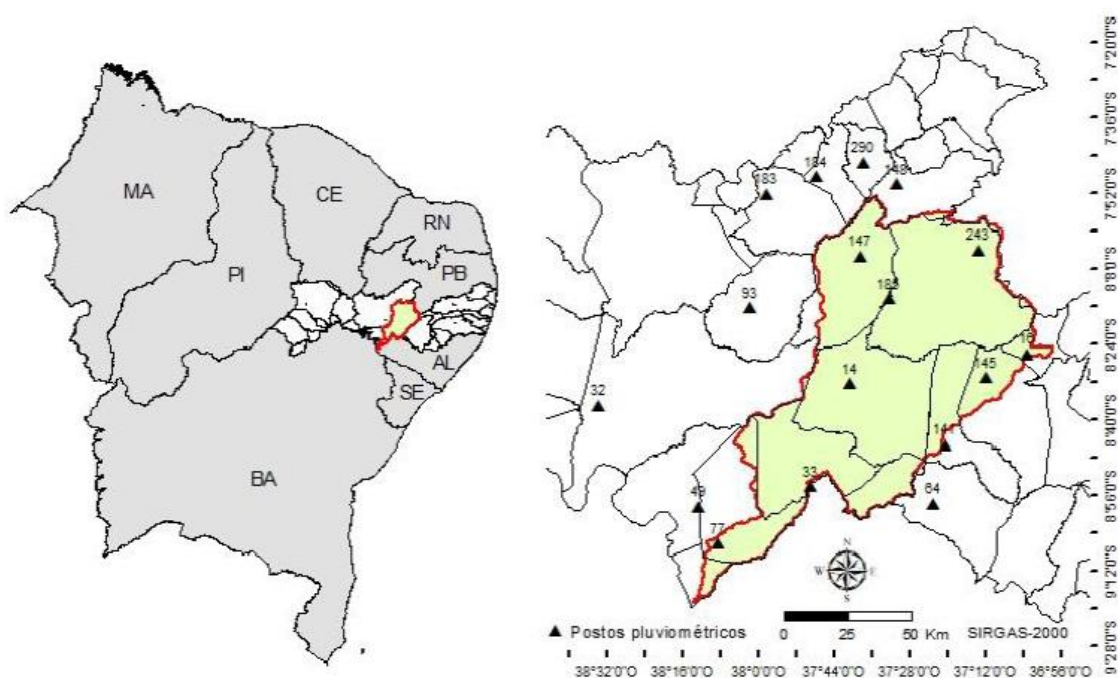
Portanto, o IA é um indicador numérico que relaciona a precipitação, temperatura, e evapotranspiração conjuntamente com a utilização do sensoriamento remoto que possibilita uma análise espacial e temporal deste processo (Amaral *et al.*, 2014). Por fim, salienta-se que o Índice de Aridez (IA) deve ser utilizado como principal indicador levando em consideração a sua capacidade em ser específico ao fenômeno, mensurável, atingível, relevante e possuir sensibilidade espaço-temporal quanto a suscetibilidade à desertificação (Brandt; Geeson, 2008; Zhang *et al.*, 2020; Almeida; Galvani, 2022).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Moxotó, a qual possui uma área total de 9.744,01 km² e 226 km de extensão, localiza-se entre 07° 52' 21" e 09° 19' 03" de latitude sul, e entre 36° 57' 49" e 38° 14' 41" de longitude oeste, totalmente inserida na região Nordeste do Brasil (NEB), entre os estados de Alagoas e Pernambuco, mais especificamente no Sertão do Moxotó, com sua maior porção se estendendo pelo Estado de Pernambuco (Figura 1), em uma área denominada semiárido nordestino (APAC, 2023).

Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Moxotó



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Notas: Base de dados do IBGE (2023).

A porção pernambucana do rio Moxotó constitui a Unidade de Planejamento Hídrico 08 (UP10) limitando-se: ao norte, com o Estado da Paraíba e com a bacia do

rio Pajeú; ao sul, com o Estado de Alagoas e com o grupo de bacias de pequenos rios interiores 2 - GI2; a leste, com as bacias dos rios Ipojuca e Ipanema; e a oeste, com a bacia do rio Pajeú e o grupo de bacias de pequenos rios interiores 3 - GI3. Abrange 12 municípios, dos quais Inajá e Sertânia estão totalmente inseridos na bacia; parcialmente inseridos são: Buíque, Floresta, Jatobá, Iguaraci e Tupanatinga; e os municípios com sede na bacia são Arcoverde, Custódia, Ibimirim, Manari e Tacaratu (APAC, 2023).

3.2 Base climatológica

Os elementos de precipitação pluviométrica e temperatura do ar são a base climatológica para a elaboração dos parâmetros pesquisados. Dessa forma foram utilizados nesta pesquisa os valores médios anuais da precipitação da série histórica de 1989 a 2018, medidos de 16 estações pluviométricas (Tabela 2). Os dados foram obtidos por meio da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Já para a obtenção dos dados médios anuais de temperatura do ar dessas estações foi empregado o *software Estima_T*, o qual estima temperaturas do ar na Região Nordeste do Brasil por meio de regressões múltiplas em função das coordenadas locais: longitude, latitude e altitude (Cavalcanti; Silva; Sousa, 2006).

Tabela 1: Estações pluviométricas utilizadas nesta pesquisa

Número	Código/Posto	Município	Altitude (m)	Latitude	Longitude
1	290	Afogados	532 m	07° 45' 25" S	37° 37' 59" O
2	16	Arcoverde	645 m	08° 26' 01" S	37° 03' 20" O
3	231	Arcoverde	645 m	08° 26' 01" S	37° 03' 20" O
4	93	Betânia	441 m	08° 16' 15" S	38° 01' 59" O
5	145	Buíque	661 m	08° 31' 00" S	37° 12' 00" O
6	183	Flores	479 m	07° 52' 00" S	37° 58' 00" O
7	32	Floresta	318 m	08° 37' 00" S	38° 34' 00" O
8	178	Floresta	318 m	08° 37' 00" S	38° 34' 00" O
9	14	Ibimirim	398 m	08° 32' 16" S	37° 40' 43" O
10	148	Iguaraci	546 m	07° 49' 57" S	37° 30' 46" O
11	33	Inajá	359 m	08° 54' 00" S	37° 49' 00" O
12	49	Petrolândia	323 m	08° 58' 27" S	38° 12' 59" O
13	185	Sertânia	556 m	08° 04' 30" S	37° 15' 50" O
14	243	Sertânia	556 m	08° 03' 51" S	37° 13' 26" O
15	77	Tacaratu	517 m	09° 06' 21" S	38° 08' 46" O
16	141	Tupanatinga	720 m	08° 45' 16" S	37° 20' 31" O

Fonte: Dados da APAC, 2023.

Desenvolvido por Thornthwaite (1948) e complementado por Penman (1953), o Índice de Aridez (IA) estabelece uma relação entre a quantidade de água que entra no sistema por meio da precipitação e a capacidade de compensar a demanda potencial de água, isto é, a estimativa de saída de água do sistema pela evapotranspiração potencial. A Equação 01 revela como o IA é calculado:

$$IA = P / ETP \quad (01)$$

Em que IA representa o índice de aridez, P corresponde à precipitação hídrica anual e ETP à evapotranspiração potencial anual. A estimativa da evapotranspiração potencial corrigida será obtida por meio do método de Thornthwaite (1948) com o cálculo da Equação 02:

$$ETP = f \cdot 16 \left(\frac{10 \cdot t}{I} \right)^a \quad (02)$$

Sendo: ETP é a evapotranspiração potencial corrigida; f é o fator de correção em função da latitude e mês do ano; t é a temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$); I é o índice de calor anual; e "a" uma constante que varia de local para local. O índice de calor anual foi obtido pela Equação 03:

$$I = \sum_1^{12} \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514} \quad (03)$$

Sendo "a" uma função de I ; também é um índice térmico regional calculado pela Equação 04:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,7292 \cdot 10^{-2} \cdot I \quad (04)$$

Os valores do fator de correção para o cálculo da evapotranspiração potencial em função da latitude de 8° S são: 1,069; 0,953; 1,037; 0,985; 1,002; 0,962; 0,998; 1,011; 0,996; 1,049; 1,031; e 1,073 para cada mês do ano em ordem crescente.

Finalizada essa etapa foi realizada a classificação climática a partir dos resultados do índice de aridez (IA) como descrito na Tabela 2:

Tabela 2: Classificação Climática utilizando o Índice Aridez

Classificação	IA
Úmido	$IA \geq 1,00$
Subúmido úmido	$0,65 < IA < 1,00$
Subúmido Seco	$0,50 < IA \leq 0,65$
Semiárido	$0,20 < IA \leq 0,50$
Árido	$0,05 < IA \leq 0,20$
Hiperárido	$IA \leq 0,05$

Fonte: Adaptada de Matallo Júnior (2003, p. 11).

Com o IA pode-se classificar os níveis de suscetibilidade à desertificação (Tabela 3), como também estabelecer três categorias de deficiência hídrica, obedecendo as escalas descritas na Tabela 4.

Tabela 3: Classificação quanto ao nível de suscetibilidade à desertificação

Níveis de suscetibilidade	IA
Baixa	$IA > 0,65$
Moderada	$0,51 < IA < 0,65$
Alta	$0,21 < IA < 0,50$
Muito alta	$0,05 < IA \leq 0,20$
Extrema	$IA < 0,05$

Fonte: Adaptada de Matallo Júnior (2003, p. 13).

Tabela 4: Categorização quanto ao grau de deficiência hídrica

Categorias	IA
Pequena ou nenhuma deficiência de água	0 – 16,7
Deficiência moderada de água	16,7 – 33,3
Grande deficiência de água	> 33,3

Fonte: Adaptada de Fernandes *et al.* (2009, p. 43).

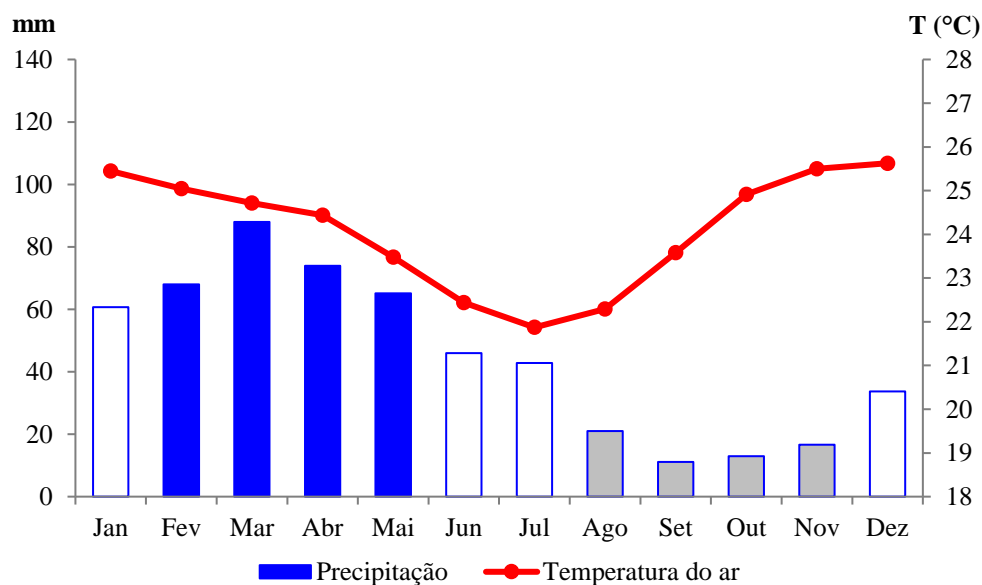
3.3 Base cartográfica

Finalizadas as etapas anteriores e em posse dos resultados obtidos com o cálculo do IA, os dados foram analisados e comparados entre os municípios que compõe a bacia hidrográfica do Moxotó. A representação espacial dos parâmetros analisados foi executada por meio da técnica estatística espacial Interpolação através do Inverso Ponderado da Distância (*Inverse Distance Weighting* – IDW), que estima valores para pontos desconhecidos a partir da soma ponderada dos valores de “n” pontos conhecidos, tendo sido selecionado por não estimar dados maiores ou menores que os dados originais (Landim, 2000). Assim, a produção das cartas temáticas foi executada através do *software ArcGis 10.3*, licenciado para o Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (DCG/UFPE), projetadas no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS-2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados de temperatura média do ar, precipitação pluviométrica anual e a estimativa da evapotranspiração potencial, determinou-se o Índice de Aridez (IA) proposto por Thornthwaite-Matter (1948), para a bacia hidrográfica do rio Moxotó. O climograma (Figura 2) apresenta média pluviométrica mensal de 45 mm, no qual a quadra chuvosa ocorre entre os meses de fevereiro a maio, com uma precipitação média de 295 mm, sendo março o mês a apresentar a maior precipitação média com 88 mm. Com a quadra chuvosa no mesmo período, Costa *et al.* (2021) analisaram o Índice de Anomalias de Chuvas (IAC) para a mesorregião do Sertão de Pernambuco, em que constataram que grande parte do volume anual precipitado está concentrado entre os meses de dezembro a maio, com os quatro meses mais úmidos se estendendo, especificamente, entre os meses de janeiro a abril, concentrando 50% do volume anual de precipitação.

Figura 2: Climograma da bacia hidrográfica do rio Moxotó (1989-2018)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Notas: Base de dados da APAC.

Entre os meses de junho e julho observa-se uma diminuição da pluviosidade até alcançar a quadra seca que ocorre entre os meses de agosto e novembro com uma precipitação média de 15 mm, sendo o mês de setembro o menos chuvoso com uma precipitação média de 11 mm. Durante os meses de dezembro e janeiro a precipitação tende a aumentar gradualmente até atingir a quadra chuvosa novamente. De acordo com Silva e Silva (2015), os meses de novembro a março representam o período em que há maior disponibilidade de energia, com o mês de janeiro apresentando valores de evapotranspiração potencial (ETP) acima da média mensal.

A temperatura média do ar é em torno de 24°C, apresentando maior temperatura no mês de dezembro (25,6°C) e a menor em julho (21,9°C), revelando uma pequena amplitude térmica anual de 3,7°C. Esta amplitude térmica também é reflexo da influência oriunda dos efeitos da altitude do relevo, que servem de base para a dispersão da umidade relativa do ar (Marengo *et al.*, 2018; Costa Júnior *et al.*, 2020).

A precipitação na região Nordeste do Brasil (NEB) não está disposta de forma homogênea no tempo e no espaço, mas sim apresenta acentuada variabilidade interanual, particularmente na precipitação, com alguns anos extremamente secos e outros extremamente chuvosos. No que tange a variabilidade mensal/sazonal, o Sertão Nordestino apresenta período chuvoso no verão, enquanto o período mais seco ocorre no inverno (Kayano *et al.*, 2004; Reboita *et al.*, 2016).

Dentre os sistemas atmosféricos que governam o regime pluviométrico e exercem influência sobre a sazonalidade pluviométrica do semiárido brasileiro destacam-se: a Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis – VCAN's, Distúrbios Ondulatórios de Leste ou simplesmente Ondas de Leste – DOL's, sistemas frontais e os Complexos Convectivos de Mesoescala – CCM. Estes sistemas atmosféricos contribuem para ocorrência de períodos chuvosos e períodos de estiagem (Ávila; Brito, 2015; Alves, 2016).

A ZCIT é formada a partir da convergência dos ventos alísios de nordeste e sudeste, exercendo forte influência sobre os trópicos, sendo, portanto, o principal sistema de produção de chuvas no semiárido do Nordeste do Brasil (NEB). Neste sentido, os períodos chuvosos e os períodos de estiagem são modulados pela variação da posição da ZCIT (ao norte ou ao sul do equador), e sua intensidade

depende da circulação geral da atmosfera, bem como da Temperatura da Superfície do Mar (TSM). O sistema ZCIT é o modulador mais importante das chuvas no semiárido nordestino, atuando durante os meses de fevereiro a maio (Ferreira; Mello, 2005; Alves, 2016; Silva, 2017; Moura *et al.*, 2019).

Os VCANs são um conjunto de nuvens que têm a forma aproximada de um círculo girando em sentido horário (vórtices do tipo Palmer). Na sua periferia há formação de nuvens causadoras de chuvas (ascendência) e no centro há movimentos de ar de cima para baixo (subsistência), aumentando a pressão e inibindo a formação de nuvens. Adentram no NEB e podem se originar tanto no oceano Atlântico quanto sobre o continente, principalmente entre os meses de novembro e março, onde a maior frequência de passagem de VCANs registrada ocorre no verão do Hemisfério Sul, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro, e sua trajetória é normalmente de leste a oeste, causando intempéries no semiárido (Ferreira; Mello, 2005; Alves, 2016; Reboita *et al.*, 2016; Lira, 2019).

As Ondas de Leste (DOLs) compreendem fortes e constantes ondas de vento que se formam no campo de pressão atmosférica das latitudes tropicais. Quando a interface oceano-atmosfera favorece as DOLs, ao provocar distúrbios que afetam a dinâmica e apresentam configurações ondulatórias nos campos de vento e pressão, elas deslocam-se para o oeste e atuam sobre a região do Semiárido do Brasil (SAB) causando precipitações, principalmente no setor centro-norte, entre os meses de junho, julho e agosto, porém em Pernambuco o Planalto da Borborema bloqueia as Ondas de Leste resultando em menores precipitações (Cavalcanti, 2009; Alves, 2016).

Sistemas Frontais ou Frentes Frias (FF) vindas da Patagônia, também estão associadas a eventos de precipitação na região do NEB, pois ao avançar para as latitudes tropicais, interagem com o ar úmido e quente tropical, criando instabilidades e produzindo atividade convectiva profunda e organizada, e chuvas intensas sobre o continente, causando excessiva precipitação e até inundações. São poucos os sistemas frontais que influenciam o semiárido, porém, em casos específicos, as Frentes Frias podem se associar com outros sistemas meteorológicos e influenciar precipitações do NEB entre maio e agosto (Moura *et al.*, 2019).

Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs) representam sistemas importantes por produzirem parte considerável da precipitação na escala local durante

os meses quentes e estão frequentemente associados com tempo severo, além de contribuir para o balanço hidrológico global. São descritos como conjuntos de nuvens cumulusnimbus (Cb) frias e espessas apresentando formato circular (que podem ser facilmente identificados em imagens de satélite), cobertos por uma densa camada de cirrus, e com um crescimento vertical explosivo. Se relacionam com eventos intensos de precipitação, abrangendo grandes áreas e acompanhando fortes rajadas de ventos (Alves, 2016; Yulihastin *et al.*, 2017; Rinaldy *et al.*, 2017; Lyra *et al.*, 2019).

Lyra *et al.* (2019) concluíram que a região do semiárido nordestino apresenta condições termodinâmicas propícias para o surgimento dos CCMs e observaram que seu desenvolvimento tem sido associado a Zona de Convergência Intertropical e com os ventos alísios de sudeste, que tem contribuído no carregamento da umidade do Oceano Atlântico Tropical.

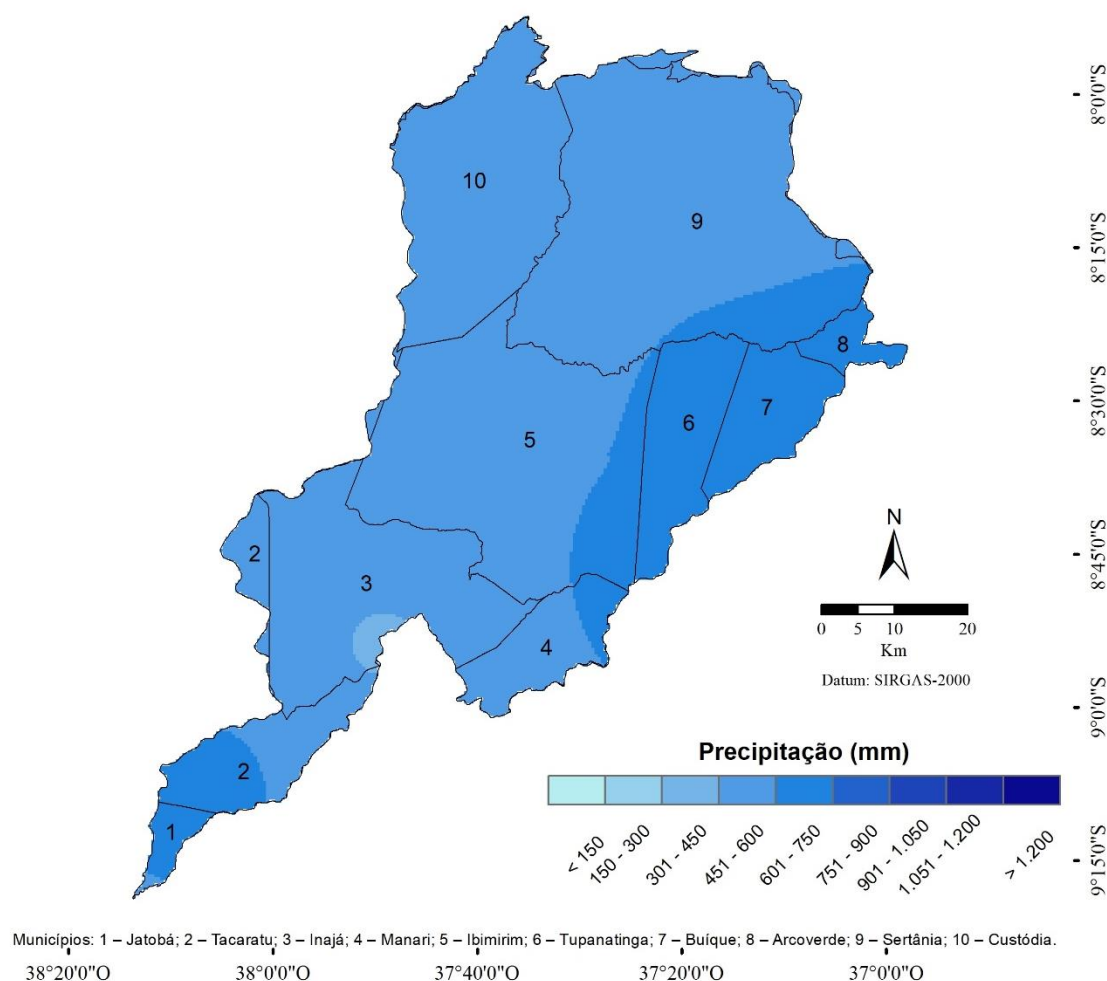
A espacialização da precipitação anual da bacia hidrográfica do rio Moxotó (Figura 3) demonstra que as áreas mais ao sudoeste são mais chuvosas, a exemplo dos municípios de Jatobá e Tacaratu, em que a precipitação pode ultrapassar o valor de 751 mm, além de se estender um pouco até o município de Inajá. Porém, este município possui uma área com valores reduzidos de precipitação (menos de 550 mm/ano).

O setor sudoeste apresenta níveis elevados de precipitação, uma vez que recebe umidade (vapor d'água) oriundo da Represa Luiz Gonzaga, abrangendo os municípios de Jatobá, Tacaratu e Petrolândia. O intenso volume d'água evaporado, em virtude dos elevados valores de evapotranspiração potencial e da temperatura média do ar, contribui para o aumento dos índices de precipitação, sendo transportado pela circulação geral da atmosfera (Cavalcanti; Mariano, 2016).

O setor leste também possui altas ocorrências de precipitação, com atenção para os municípios de Buíque e Tupanatinga, nos quais a precipitação chega em torno de 651 - 700 mm. Por outro lado, no sentido leste-oeste da bacia hidrográfica do rio Moxotó é possível notar uma diminuição gradativa da precipitação inferior a 650 mm, ficando abaixo de 550 mm na região centro-norte, abrangendo os municípios de Custódia, Sertânia e Ibimirim.

Isso acontece em razão da proeminência do relevo do setor leste, pois é onde se localizam os municípios com as maiores cotas altimétricas da bacia hidrográfica do rio Moxotó, a exemplo de Tupanatinga (6), Buíque (7) e Arcoverde (8) apresentando valores que variam entre 600 e 750 m de altitude. Tais cotas altimétricas são reflexos da localização desses municípios nas escarpas ocidentais do Planalto da Borborema que tendem a fornecer maior umidade relativa do ar para esses municípios (Fonseca, 2012; Monteiro, 2015).

Figura 3 – Mapa da precipitação anual da bacia hidrográfica do rio Moxotó



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. Dados da APAC (1989-2018).

Os mapas temáticos da precipitação mensal da bacia hidrográfica do rio Moxotó estão representados na Figura 4. Os períodos chuvosos ocorrem entre os meses de

fevereiro e maio, onde as chuvas podem alcançar ou até mesmo ultrapassar os 120 mm, compreendendo a quase totalidade da área analisada. Março representa o mês de maior média pluviométrica, com o município de Custódia em sua região norte registrando precipitação entre 101 e 120 mm. Apresenta dados semelhantes aos relatados por Silva *et al.* (2018, p. 111), onde “no Sertão, a estação chuvosa ocorre entre os meses de dezembro a maio, com máximas de precipitação durante os meses de fevereiro e março”.

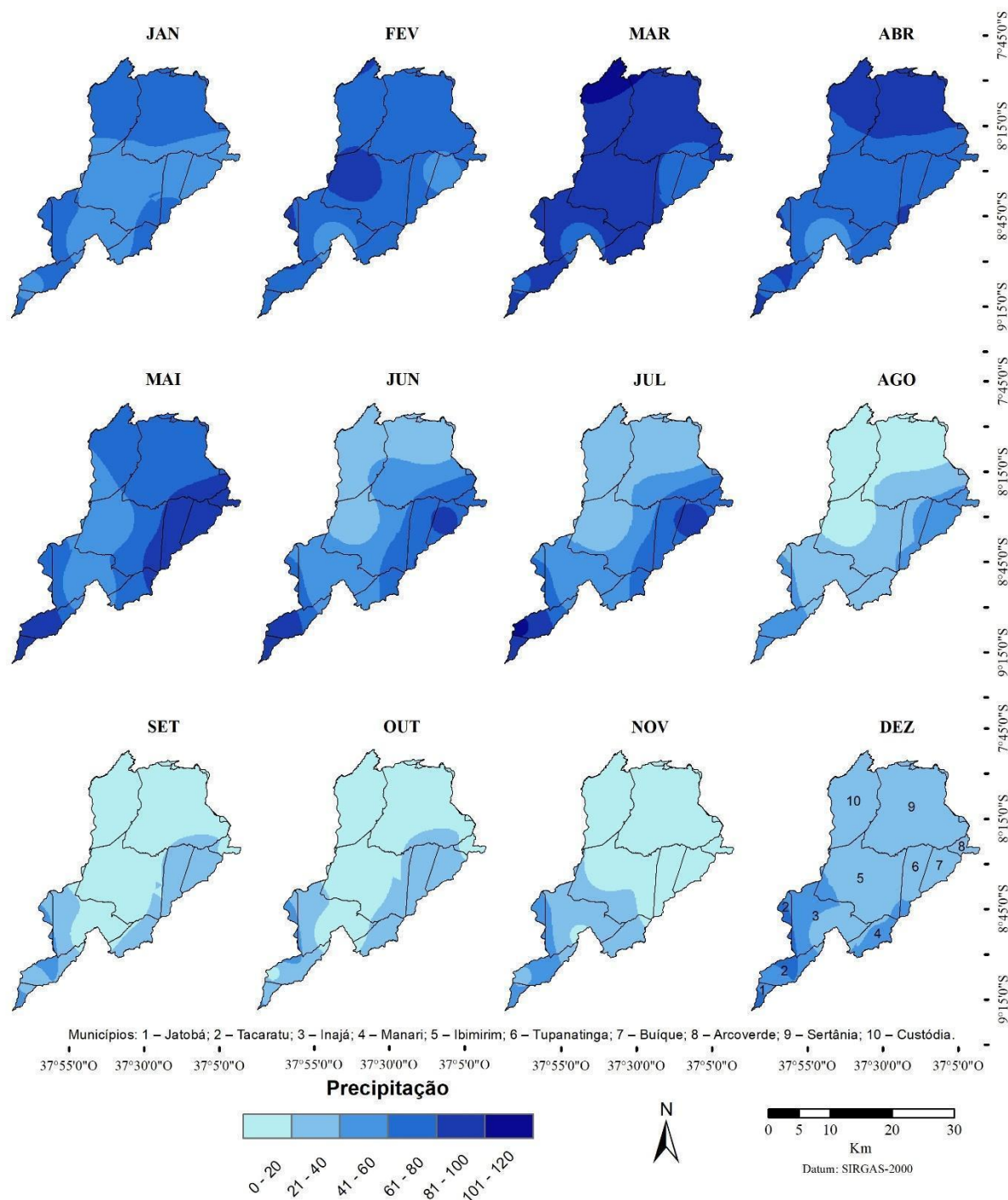
A ZCIT apresenta inclinação máxima, sobre o NEB, no mês de abril. Por ser considerada o principal sistema causador de chuvas, durante este mês a ZCIT pode definir a qualidade de determinado ano em ser seco, normal ou chuvoso. Nos anos em que a ZCIT não atua nos meses de março e/ou abril a região sofre com falta de chuvas, principalmente o semiárido (Melo *et al.*, 2000; Silva, 2017)

Entre os meses de junho e julho os índices de precipitação apresentam queda, caracterizando o período de transição para a fase de menor pluviosidade da bacia hidrográfica do rio Moxotó. No entanto, ainda há ocorrência de precipitação significativa nos setores centro-leste e sudoeste, entre os municípios de Tupanatinga, Buíque, Arcoverde, Jatobá e grande parte de Tacaratu, com precipitação variando entre 81 e 100 mm.

Em contrapartida, os períodos secos ocorrem entre os meses de agosto e novembro, revelando índices muito baixos que podem ficar em torno de 20 a 40mm. De acordo com Galvíncio *et al.* (2008) os meses de setembro e outubro apresentam historicamente valores muito baixos, em análise realizada no período de 1911 a 1990. Entre dezembro e janeiro a precipitação aumenta gradativamente até chegar à quadra chuvosa novamente.

Diaz (2017) em sua pesquisa sobre variabilidade anual e interanual da precipitação, observou comportamento semelhante para a precipitação mensal da bacia hidrográfica do rio Pajeú, situada ao norte da bacia hidrográfica do rio Moxotó, em que o período chuvoso se concentra nos primeiros cinco meses do ano, e o período seco compreende o mês de junho e se estende até dezembro; concluindo que essa dinâmica é reflexo, principalmente, do deslocamento da ZCIT.

Figura 4: Mapa da precipitação mensal da bacia hidrográfica do rio Moxotó



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. Dados da APAC (1989-2018).

Os mapas temáticos na Figura 5 revelam a espacialização da precipitação da bacia hidrográfica do rio Moxotó dos anos mais secos (1993, 1998 e 2012), habituais (1995, 2002 e 2003) e chuvosos (1989, 2008 e 2009) para a série histórica analisada

(1989 – 2018). Com relação aos anos extremamente secos, obteve-se o valor médio anual de 221 mm para 1993, 212,9 mm para 1998, de 209,1 mm para 2012. Para os anos com precipitação habituais registrou-se 491 mm para 1995, 523 mm para 2002 e 501 mm para 2003, representando a distribuição regular de precipitação em toda a bacia hidrográfica.

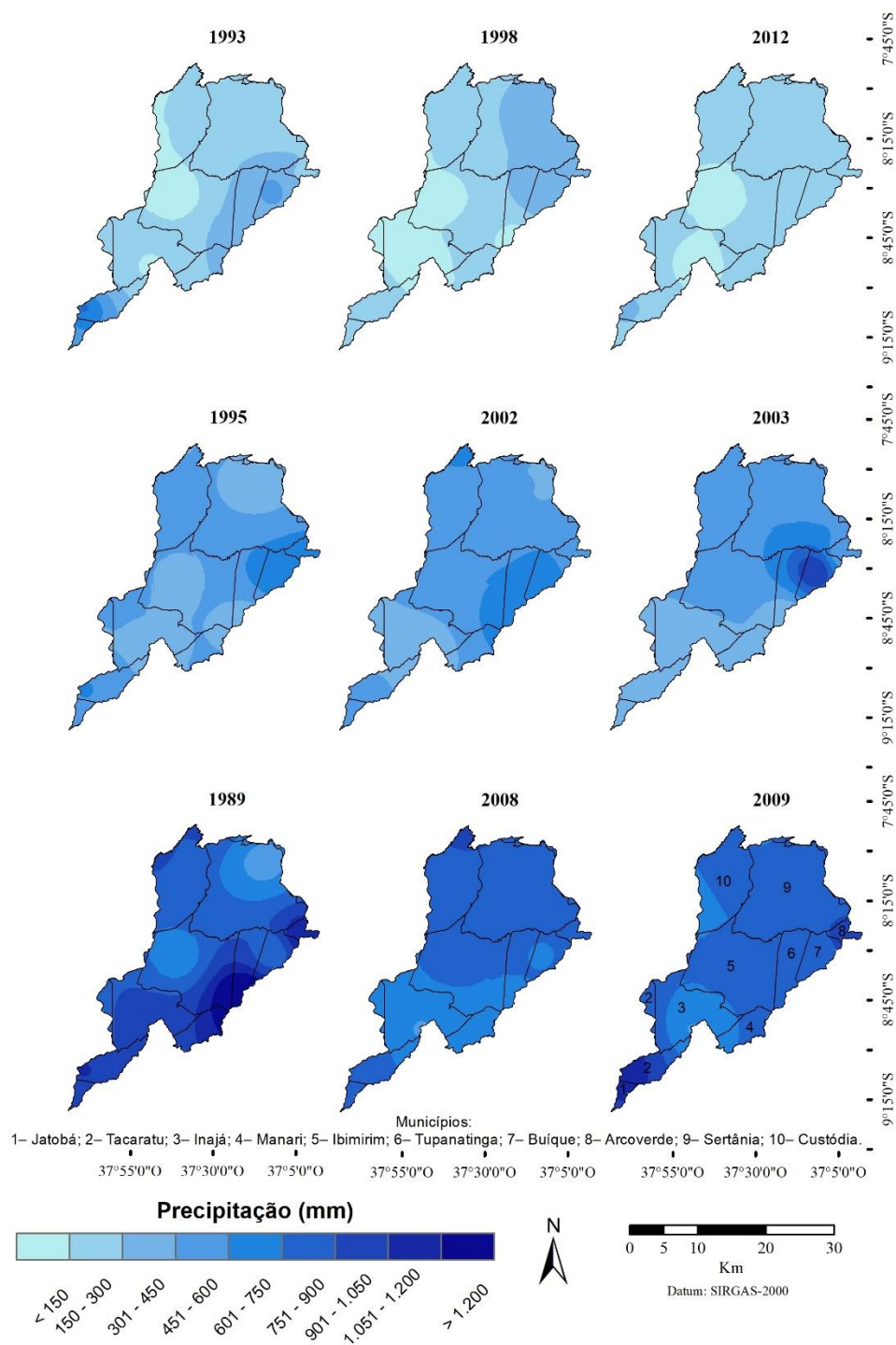
As classificações seco, chuvoso e habitual tem por referência a média histórica (1989-2018) da precipitação anual da bacia hidrográfica do rio Moxotó que corresponde ao valor de 295 mm. Ou seja, anos secos correspondem a precipitação abaixo da média histórica de precipitação anual; os anos chuvosos quando o valor da média foi ultrapassado; e os anos habituais e/ou regulares quando os valores de precipitação se encontram muito próximo de 295 mm.

Na espacialização dos anos com chuvas extremas, verificou-se o valor médio de 926,7 mm para o ano de 1989, 782 mm para 2008 e 797 mm para o ano de 2009. Costa *et al.* (2021) analisaram a dinâmica espaço-temporal das anomalias de precipitação na mesorregião do Sertão do estado de Pernambuco utilizando postos pluviométricos. Os autores verificaram os anos mais chuvosos compreendendo o período de 1987 a 1989, bem como entre 2004 e 2009, constataram-se também os períodos secos de 1990 a 1993, de 1998 a 2003 e de 2012 a 2017.

De acordo com Melo, Cavalcanti e Souza (2009) e Climanálise (2007) durante o período chuvoso iniciado em 2007 e se estendendo até 2009, ocorreu a formação de uma banda dupla da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Nesse período aconteceram irregularidades na distribuição de chuvas sobre o Nordeste do Brasil, em que o mês de fevereiro foi bastante chuvoso e os meses de março a maio enfrentaram estiagem.

A variabilidade e disponibilidade hídrica interanual estão condicionadas as teleconexões climáticas dos oceanos Pacífico e Atlântico, a exemplo disto a maioria dos anos secos resultam dos efeitos dos fenômenos de mesoescala: *El Niño* e Dipolo do Atlântico. A diferença nas médias anuais pode ser explicada pela variação na circulação geral da atmosfera, sistemas meteorológicos e em alguns casos da posição geográfica, ocorrência de fatores topoclimáticos e hipsométricos (Thornthwaite, 1953; Alves, 2016; Silva *et al.*, 2018; Marra; Morin, 2018).

Figura 5: Mapa da precipitação dos anos secos, habituais e chuvosos

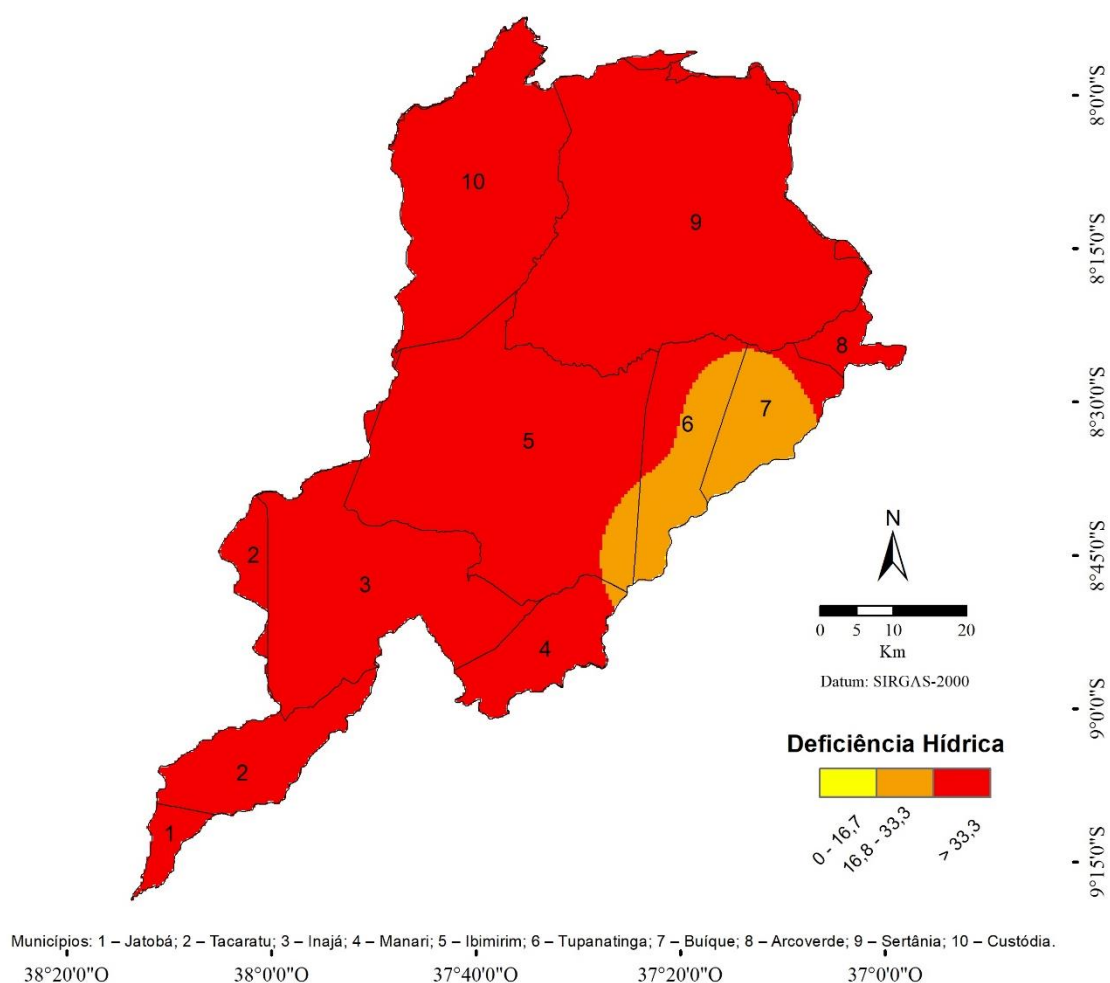


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. Dados da APAC (1989-2018).

A deficiência hídrica (DEF) anual da área e período estudados foi de 717 mm. A espacialização da DEF representada pela Figura 6 evidencia que a quase totalidade

da bacia hidrográfica do rio Moxotó possui índices superiores a 33,3. Contudo, na área oriental, a DEF apresenta valores intermediários, variando entre 16,8 e 33,3, compreendendo os municípios de Tupanatinga e Buíque, representando uma DEF moderada. As análises foram realizadas conforme as referências estabelecidas em Fernandes *et al.* (2009) (Tabela 5), relacionadas à categorização quanto ao grau de deficiência hídrica.

Figura 6: Mapa de deficiência hídrica da bacia hidrográfica do rio Moxotó



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. Dados da APAC (1989-2018).

A região do Sertão Pernambucano apresenta deficiência hídrica acentuada porque os valores de ETP são maiores do que as precipitações. A deficiência hídrica

é verificada o ano todo, acentuando-se entre os meses de setembro a novembro (Lopes *et al.*, 2017; Leite *et al.*, 2020). Costa Júnior *et al.* (2020) analisando o município de Ibimirim verificaram a existência de alta deficiência hídrica e concluíram que as taxas elevadas de precipitação durante os meses de janeiro a maio ainda não são suficientes para suprir as altas taxas de evapotranspiração, fazendo com que a DEF ocorra em todos os meses do ano.

A obtenção de valores moderados de DEF (16,8 e 33,3) para os municípios de Tupanatinga (6), Buíque (7) e parte de Ibimirim (5) revelam uma área de exceção dentro da bacia hidrográfica do rio Moxotó. Essa excepcionalidade é compreendida pelo fato desta área estar localizada no setor leste da bacia, onde as análises de precipitação anual são mais altas (Figura 3) e temperaturas médias anuais do ar mais amenas (Figura 7) em relação ao restante da bacia hidrográfica.

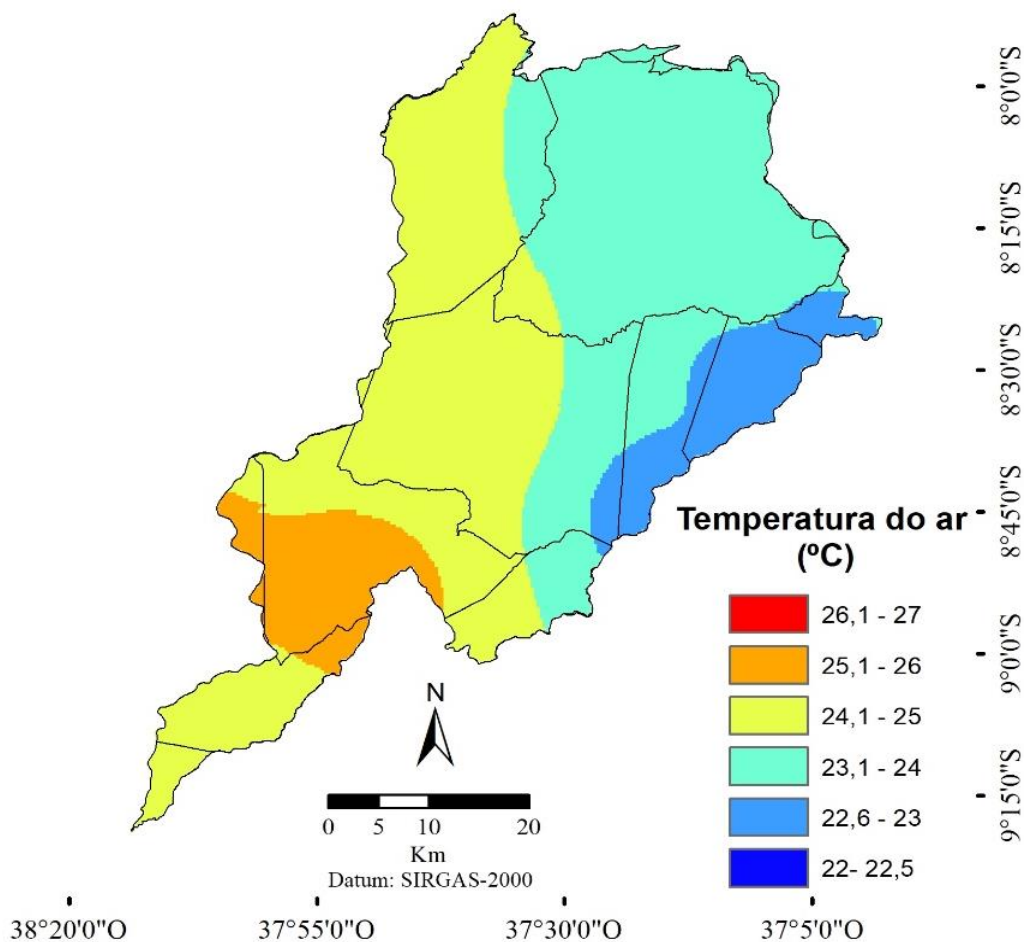
Tais valores moderados de DEF para o setor leste revelam a influência do Planalto da Borborema, em contrapartida, os valores superiores a 33,3 estão associados com fato do restante da bacia hidrográfica do rio Moxotó adentrar para a Depressão Sertaneja. Souza *et al.* (2015) constataram a efetividade de relações conjuntas entre a disponibilidade hídrica e a altitude, observando a ocorrência de índices elevados de chuvas nas áreas mais altas e a redução desses índices sobre a Depressão Sertaneja.

A altitude do relevo é um dos moduladores muito importantes do clima local, (Geng *et al.*, 2017; Cavalcante, 2019). As encostas de sotavento do Planalto da Borborema tendem a favorecer um movimento subsidente do ar atmosférico da célula de Walker e da célula de Hadley, resultando em estabilidade e aquecimento adiabático sobre a superfície. Portanto, as áreas mais rebaixadas do relevo, localizadas a sotavento, tendem a receber menos precipitação e umidade, aumentando consequentemente as temperaturas médias e elevando as taxas de ETP (Siler *et al.*, 2013; Reboita *et al.*, 2016; Wanderley *et al.*, 2019).

De acordo com Wanderley *et al.* (2019, p. 2) ao analisar a relação entre o relevo e o clima como proposição de caracterização da fisiologia da paisagem em Pernambuco, verificaram que “a interação do relevo com os elementos atmosféricos possui influência sobre a disposição dos tipos climáticos e sobre a dinâmica das paisagens”.

No mapa de espacialização da temperatura média anual do ar da bacia hidrográfica do rio Moxotó (Figura 7), observa-se que os valores variam entre 22,6°C e 26°C, sendo predominante entre 23,1°C e 25°C. A média anual da temperatura do ar é de 24,1°C. A região sudoeste apresenta temperaturas mais elevadas, principalmente no município de Inajá, em que a variação de temperatura do ar pode alcançar os 26°C, por outro lado, a região centro-leste (municípios de Arcoverde, Buíque, Tupanatinga e Ibimirim) evidencia temperaturas do ar mais amenas (entre 22,6°C e 24°C).

Figura 7: Mapa da temperatura média anual do ar (°C) da bacia hidrográfica do rio Moxotó



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. Dados do software *Estima_T* (1989-2018).

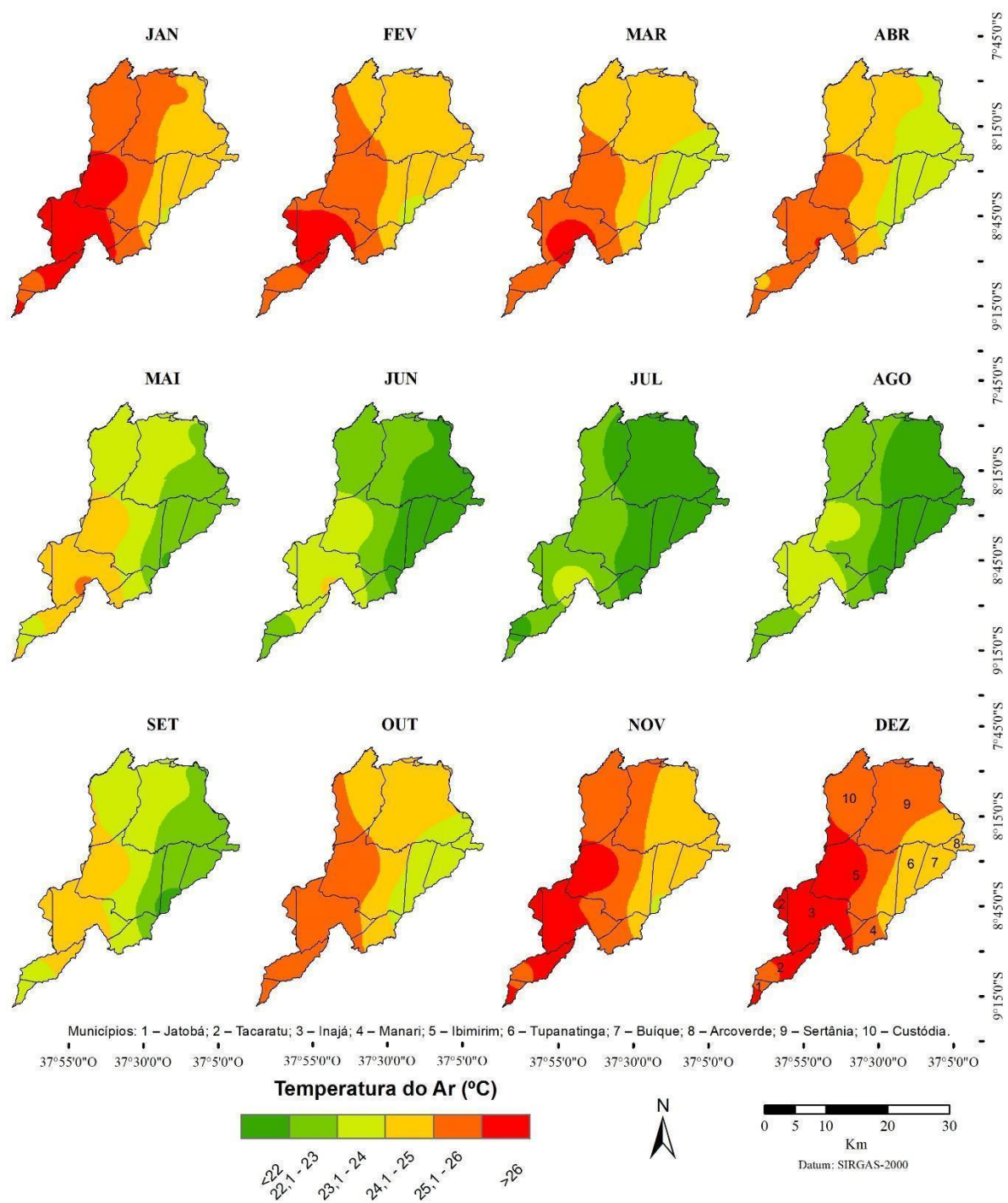
Segundo Medeiros *et al.* (2018, p. 91) “a elevação e a latitude são variáveis fisiográficas que melhor explicam a variação da temperatura mensal e anual”. A espacialização possibilita verificar que na porção oriental os valores médios mensais de temperatura do ar são mais amenos e na porção ocidental temperatura médias do ar são mais elevadas, podendo alcançar os 26°C.

A Figura 8 representa a espacialização mensal da temperatura média do ar (°C) para a bacia hidrográfica do rio Moxotó, a qual varia em função das estações do ano, verificando-se os maiores índices entre os meses de outubro a abril, em que as máximas temperaturas superam os 24,1 °C em alguns municípios, com uma média de 25,2 °C, atingindo sua máxima no mês de dezembro com 25,6 °C. De maio a setembro as temperaturas médias do ar são mais amenas, atingindo os menores valores de temperatura no mês de julho (inverno) com média de 21,9°C.

A partir do mês de abril as temperaturas reduzem, ficando abaixo dos 23,7 °C, predominantemente, atingindo os menores valores de temperatura no mês de julho (inverno) com média de 21,9°C, apresentando uma amplitude térmica anual de 3,7 °C. Os meses de setembro e maio registram temperaturas médias do ar similares, em torno de 23,5 °C, representando períodos de transição das altas e baixas temperaturas, respectivamente.

Na análise da temperatura média mensal do ar e suas flutuações no estado de Pernambuco, Medeiros *et al.* (2018) verificaram que o comportamento da temperatura no Sertão de Pernambuco revela aumento significativo da temperatura entre os meses de janeiro a março. Já entre os meses de abril e agosto há uma oscilação na temperatura média do ar, revelando queda e expondo a região a amenidades térmicas. Por fim, o período que compreende os meses de setembro a dezembro a temperatura torna a aumentar.

Figura 8: Mapa da temperatura média mensal do ar (°C) da bacia hidrográfica do rio Moxotó

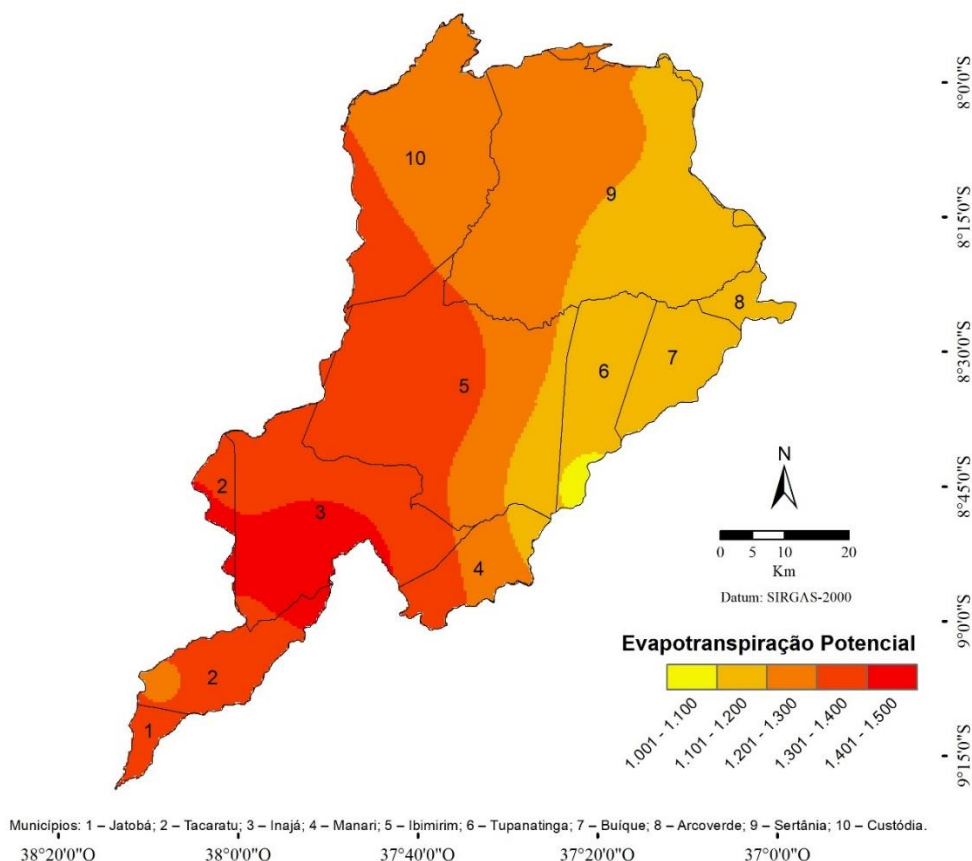


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. Dados do software *Estima_T* (1989-2018).

A Figura 9 representa a variação espacial da evapotranspiração potencial (ETP), a qual varia entre 1.001 e 1.500 mm/ano. Verificou-se que suas maiores taxas

foram registradas na região sudoeste da bacia hidrográfica, com valores superiores a 1.401 mm. Em contrapartida, as menores taxas foram registradas na região centro-leste, com valores inferiores a 1.300 mm/ano.

Figura 9: Mapa da evapotranspiração potencial (ETP) da bacia hidrográfica do rio Moxotó



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Notas: ETP estimada com base nos dados da APAC e do software *Estima_T* (1989-2018).

De acordo com Thornthwaite (1944) a evapotranspiração (ET) é um fenômeno natural, no qual a água da superfície terrestre passa para a atmosfera no estado de vapor a partir da evaporação da superfície do solo, e transpiração dos tecidos das plantas. Para Chun *et al.* (2018) a evapotranspiração (ET) apresenta-se como elemento essencial para a dinâmica hidroclimática das regiões áridas e semiáridas, pois grande parte do volume precipitado é evaporado ou transpirado pela vegetação.

O cenário de escassez hídrica no Semiárido do Brasil (SAB) é um fato em virtude de sua variabilidade climática e das mudanças na composição da cobertura vegetal natural. A elevada disponibilidade de radiação solar, associada à irregularidade do regime pluviométrico, contribui para o aumento das taxas de evapotranspiração potencial (Ferreira *et al.*, 2020). Em ambientes tropicais com transições abruptas entre tipos climáticos (úmido-semiárido), a evapotranspiração assume um papel importante entre os elementos do clima (Wanderley *et al.*, 2019).

A média da evapotranspiração potencial (ETP) é de 1.271,2 mm para a série histórica analisada (1989 – 2018), sendo o maior valor médio obtido foi para o município de Petrolândia com 1.551,9 mm e o menor para o município de Tupanatinga com 1.078,8 mm. Isso acontece em razão do município de Petrolândia registrar temperaturas bastante elevadas, com uma média anual de 26°C, podendo alcançar 27,6°C no mês de dezembro, apresentando baixos volumes de precipitação, em média anual de 385mm, sendo a quadra chuvosa entre fevereiro e maio, março deteve 68,8mm.

Os valores obtidos para a precipitação, evapotranspiração potencial, temperatura média anual do ar e Índice de Aridez (IA) para as localizações das estações pluviométricas dos municípios que compõem a bacia hidrográfica do rio Moxotó podem ser observados na Tabela 6. Conforme Rocha Júnior (2020) e Costa (2021) temperaturas elevadas e baixos volumes de precipitação impactam em significância positiva e aumentam as taxas de evapotranspiração potencial (ETP), por outro lado, baixos índices térmicos e elevados valores de precipitação reduzem os valores de ETP.

Observa-se que as estações nas quais a precipitação fica acima de 539,8mm/anuais (média da bacia hidrográfica do rio Moxotó), e apresenta valores de ETP menores que a média (abaixo de 1.271,2 mm/anuais) apresentam aumento no Índice de Aridez, como no caso de Arcoverde, Tupanatinga e Buíque, as quais apresentam IA com 0,6. Em contrapartida, as estações nas quais a precipitação fica abaixo de 539,8mm/anuais e maiores que a média de ETP (acima de 1.271,2 mm/anuais) apresentam redução no IA, a exemplo de Petrolândia com 0,2, bem como Floresta e Betânia com 0,3.

Wanderley *et al.* (2019, p. 21) concluíram que há uma relação positiva do relevo com o IA ao verificar que “a topografia se relaciona com o Índice de Aridez (IA) de maneira diferenciada de acordo com os sistemas atmosféricos atuantes e com o arranjo espacial das formas de relevo”. Ao analisar a Tabela 5 verificamos que Arcoverde, Tupanatinga e Buíque possuem valores elevados de IA também em função de sua localização geográfica.

Tabela 5: Precipitação, evapotranspiração potencial (ETP), temperatura média anual e índice de aridez (IA) para as estações pluviométricas dos municípios que compõem a bacia hidrográfica do rio Moxotó

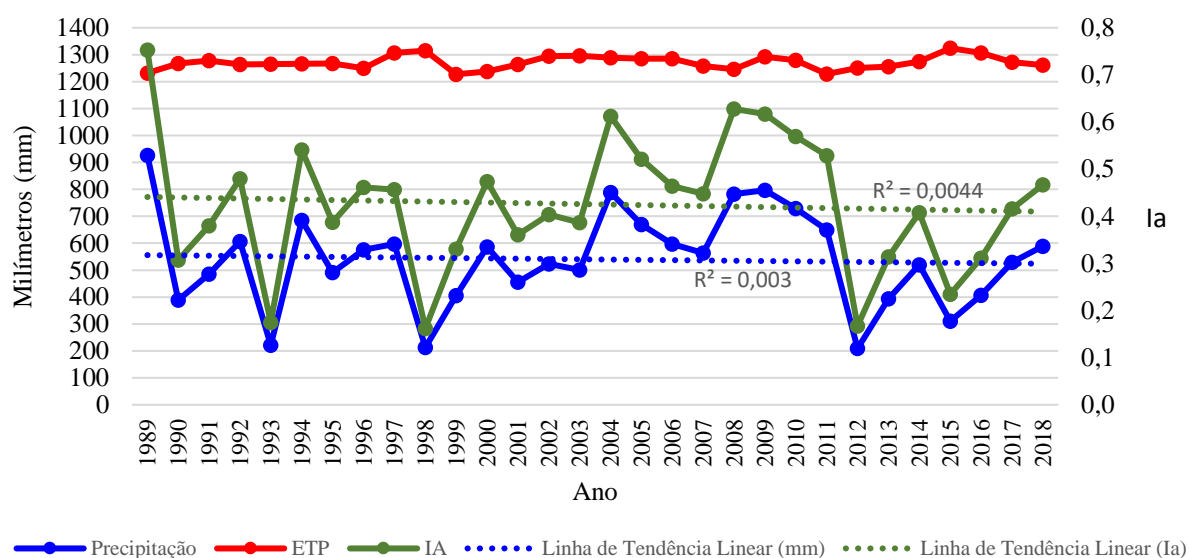
Código/Posto	Município	Precipitação (mm)	ETP (mm)	Temperatura (°C)	IA
290	Afogados	593,1	1261,3	24,2	0,5
16	Arcoverde	640,8	1126,2	22,9	0,6
231	Arcoverde	657,1	1126,2	22,9	0,6
93	Betânia	393,1	1402,9	25,2	0,3
145	Buíque	703,2	1193,3	22,8	0,6
183	Flores	588,2	1333,3	24,7	0,4
32	Floresta	442,5	1296,9	24,4	0,3
178	Floresta	397,7	1296,9	24,4	0,3
14	Ibimirim	488,3	1389,7	25,1	0,4
148	Iguaraci	551,7	1242,1	24,0	0,4
33	Inajá	441,8	1437,1	25,4	0,3
49	Petrolândia	385,2	1551,9	26,0	0,2
185	Sertânia	483,6	1213,2	23,7	0,4
243	Sertânia	476,3	1213,2	23,4	0,4
77	Tacaratu	705,5	1283,8	24,3	0,6
141	Tupanatinga	689,1	1078,8	22,4	0,6

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023. Dados da APAC e do software *Estima_T* (1989-2018).

Analisar tendências climáticas de aumento ou diminuição de precipitação e temperatura do ar ao longo dos anos objetiva-se identificar mudanças nos padrões médios conhecidos. Pesquisadores tem buscado identificar tendências em séries de precipitação e temperatura na região do NEB. Em alguns casos estas tendências apontam aumento das temperaturas médias, que por consequência elevaria as taxas de ETP e reduziria a disponibilidade hídrica do semiárido (Nóbrega *et al.*, 2015; Marengo, 2016; Silva *et al.*, 2018)

A Figura 10 retrata o gráfico de precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP), Índice de Aridez (IA) e linhas de tendências da bacia hidrográfica do rio Moxotó. O IA acompanha a precipitação ao longo do período analisado (1989 – 2018), com o registro de maiores valores nos anos de 1989, 2008 e 2009 com IA de 0,75, 0,63 e 0,62, respectivamente. Os menores índices de precipitação e IA ocorrem nos anos de 1993, 1998 e 2012, com IA inferior a 0,2. Já a ETP permanece estabilizada ao longo do período analisado. Isso ocorreu, pois, esse parâmetro foi estimado por meio da temperatura mensal média do ar. Estudos realizaram estimativas de evapotranspiração potencial (Filgueiras *et al.*, 2020; Lima, 2019; Abidoun *et al.*, 2018; Vanino *et al.*, 2018), levando em consideração seu comportamento espaço-temporal para cenários de períodos secos e chuvosos.

Figura 10: Gráfico de precipitação, evapotranspiração (ETP), temperatura, Índice de Aridez (IA) e tendências da bacia hidrográfica do rio Moxotó



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

As linhas de tendências que acompanham as variáveis de precipitação (P) e do Índice de Aridez (IA) encontram-se muito próximas do valor de zero, revelando que a variação para a bacia hidrográfica do rio Moxotó é praticamente nula. Silva *et al.* (2018) analisaram a tendência temporal da precipitação pluviométrica interanual no

semiárido pernambucano e constataram que não há tendência significativa de diminuição de precipitações.

De acordo com Nóbrega, Farias e Santos (2015), ao analisarem a variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica em Pernambuco por meio de índices de extremos climáticos, concluíram que as tendências apresentam aumento de chuvas e de eventos extremos para todo o estado de Pernambuco, com exceção da Zona da Mata e da Região Metropolitana do Recife (RMR). Acrescentam que sobre os sertões há tendência de aumento de volume anual de pluviosidade e regularidade durante todo o ano no número de eventos extremamente secos, além de maior ocorrência de eventos extremamente chuvosos.

Moraes (2021) ao estudar as áreas suscetíveis a desertificação no Brasil e traçar um comparativo com os cenários de mudanças climáticas, verificou a predominância do clima semiárido. Assim, como observado na Figura 10, a tendência é que o IA acompanhe os valores de precipitação anual. Em conformidade, Wei *et al.* (2021) afirmam que ao se tratar da evolução espaço-temporal, as alterações na suscetibilidade à desertificação desde 2000 têm sido predominantemente estáveis, e a sensibilidade global tem apresentado uma tendência decrescente lenta.

Nas análises de tendências da evapotranspiração para o NEB, Rocha Júnior *et al.* (2020) e Costa *et al.* (2020) verificaram que há ocorrência de tendência positiva significativa de ETP (1,48 mm/ano) para o oeste de Pernambuco, que dentre outros fatores pode estar associada a intensificação do processo de desertificação, entretanto, não obteve significância estatística (0,24). Silva *et al.* (2018) ao observar tendências da evapotranspiração potencial no Sertão de Alagoas, no período de 1961 a 2016, evidenciaram que há significativo decréscimo estatístico da ETP anual.

Para Penereiro e Garcia (2016) em sua pesquisa na detecção de tendência hidroclimáticas na bacia do rio São Francisco, do qual o rio Moxotó é tributário, considerando as seguintes variáveis hidroclimáticas: temperatura, precipitações pluviométricas e índices de vazão; concluíram que das 84 séries possíveis realizadas em 39 localidades, em 50 séries (60%) os dados não apresentaram indícios de tendências significativas.

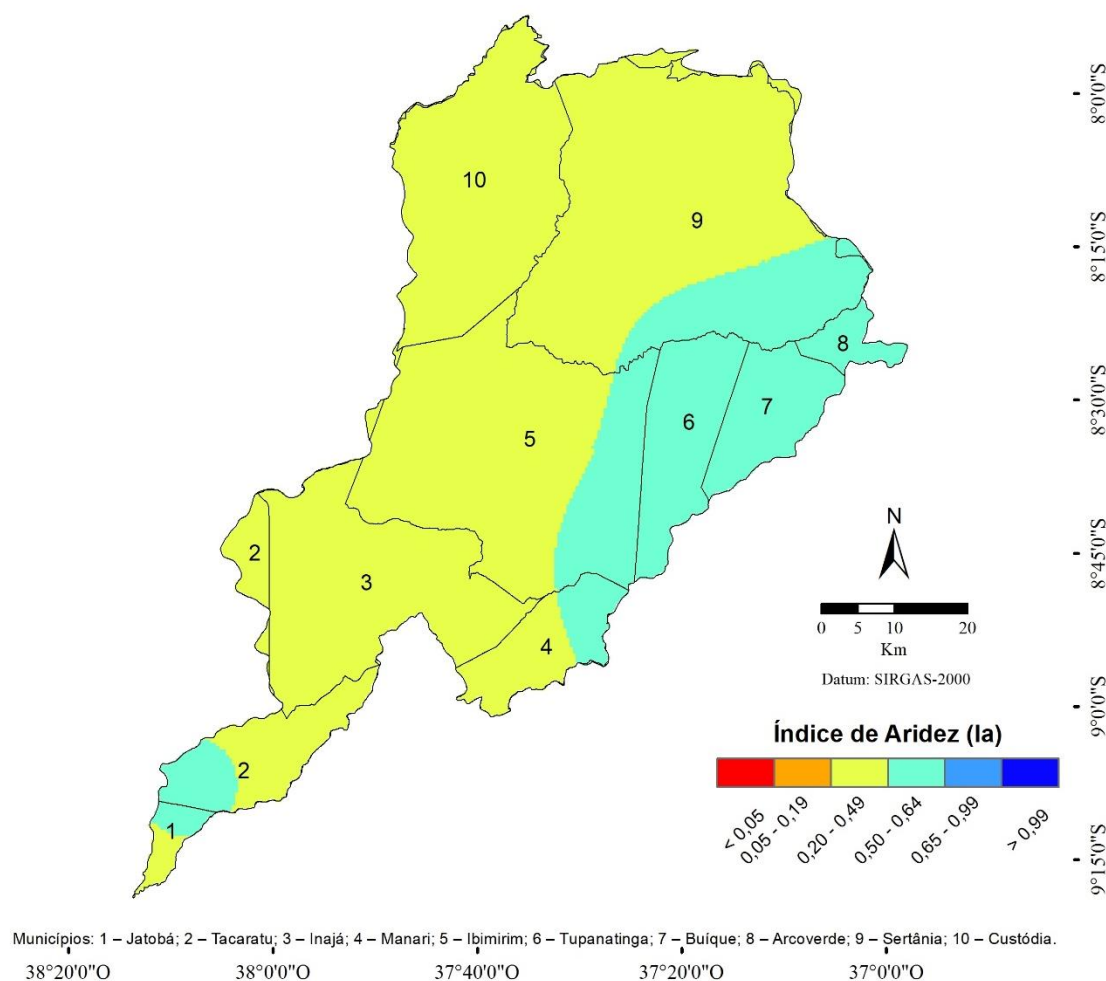
Souza *et al.* (2019) verificaram a variação temporal de IA no estado do Ceará, no período entre 2004 e 2018, considerando dois períodos para avaliação, os primeiros e segundos semestres interanuais. Concluíram que os primeiros semestres registram classificação climática semiárida e os segundos semestres registram classificação árida. Evidenciando a singularidade climática marcante do semiárido, conforme representando pelo climograma da bacia do rio Moxotó (Figura 02), concentração de chuvas nos primeiros meses, caracterizando duas estações anuais: uma seca e uma chuvosa.

O gráfico de tendência (Figura 10) demonstra que o IA acompanha a precipitação. Assim, verifica-se expressiva suscetibilidade da bacia hidrográfica do rio Moxotó ao processo de desertificação em virtude das suas características hidroclimáticas que favorecem este processo, principalmente nos períodos secos, e não devem, necessariamente, estar associadas exclusivamente a uma mudança do clima.

Após o cálculo de todos os valores do IA para as dezesseis estações selecionadas, especializou-se tal informação para análise do comportamento deste índice no território. Na Figura 11 está representado a variação espacial do Índice de Aridez (IA), o qual varia entre 0,05 e 0,49. Verificou-se a predominância da classe entre 0,20 e 0,49, abrangendo os municípios de Tacaratu, Inajá, Ibimirim, Sertânia e Custódia. Porém, há uma faixa que se estende na região leste e pequena área no sudoeste da bacia hidrográfica, o Índice de Aridez varia de 0,50 a 0,64.

Observou-se que a região centro-leste apresenta maiores valores de precipitação (651 - 700 mm/anuais), temperaturas mais amenas (entre 22,6°C e 24°C) e valores menores de evapotranspiração (inferiores a 1.300 mm/ano), por isso os municípios de Tupanatinga, Buíque e Arcoverde possuem IA que variam de 0,50 a 0,64, sendo valores mais altos que o restante das localidades da bacia hidrográfica do rio Moxotó, o que proporciona a esses municípios o caráter moderado de suscetibilidade ao processo de desertificação.

Figura 11: Mapa do Índice de Aridez (IA) da bacia hidrográfica do rio Moxotó



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Com base nos valores obtidos a partir da média do IA, do período de 1989 a 2018, para cada uma das 16 estações pluviométricas (Tabela 6), foi realizada a análise de acordo com as referências estabelecidas em Matallo Júnior (2003) (Tabelas 3 e 4), relacionadas às classes climáticas quanto à suscetibilidade ao processo de desertificação.

Evidencia-se que todos os municípios que compõem a área da bacia hidrográfica do rio Moxotó apresentam suscetibilidade ao processo de desertificação, sendo classificados majoritariamente entre suscetibilidade moderada e alta, com exceção do município de Petrolândia (49) que foi o único a apresentar suscetibilidade muito alta ao processo. Ao referir-se à desertificação, quanto menor for o valor

encontrado para o Índice de Aridez (IA), maior será a suscetibilidade ao processo (Matallo, 2003; Cerqueira *et al.*, 2020).

Tabela 6: Classificação climática e de suscetibilidade à desertificação a partir do Índice de Aridez (IA) para as estações pluviométricas analisadas

Código/Posto	Município	IA	Classe climática	Suscetibilidade à desertificação
290	Afogados	0,5	Subúmido Seco	Alta
16	Arcoverde	0,6	Subúmido Seco	Moderada
231	Arcoverde	0,6	Subúmido Seco	Moderada
93	Betânia	0,3	Semiárido	Alta
145	Buíque	0,6	Subúmido Seco	Moderada
183	Flores	0,4	Semiárido	Alta
32	Floresta	0,3	Semiárido	Alta
178	Floresta	0,3	Semiárido	Alta
14	Ibimirim	0,4	Semiárido	Alta
148	Iguaraci	0,4	Semiárido	Alta
33	Inajá	0,3	Semiárido	Alta
49	Petrolândia	0,2	Semiárido	Muito Alta
185	Sertânia	0,4	Semiárido	Alta
243	Sertânia	0,4	Semiárido	Alta
77	Tacaratu	0,6	Subúmido Seco	Moderada
141	Tupanatinga	0,6	Subúmido Seco	Moderada

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

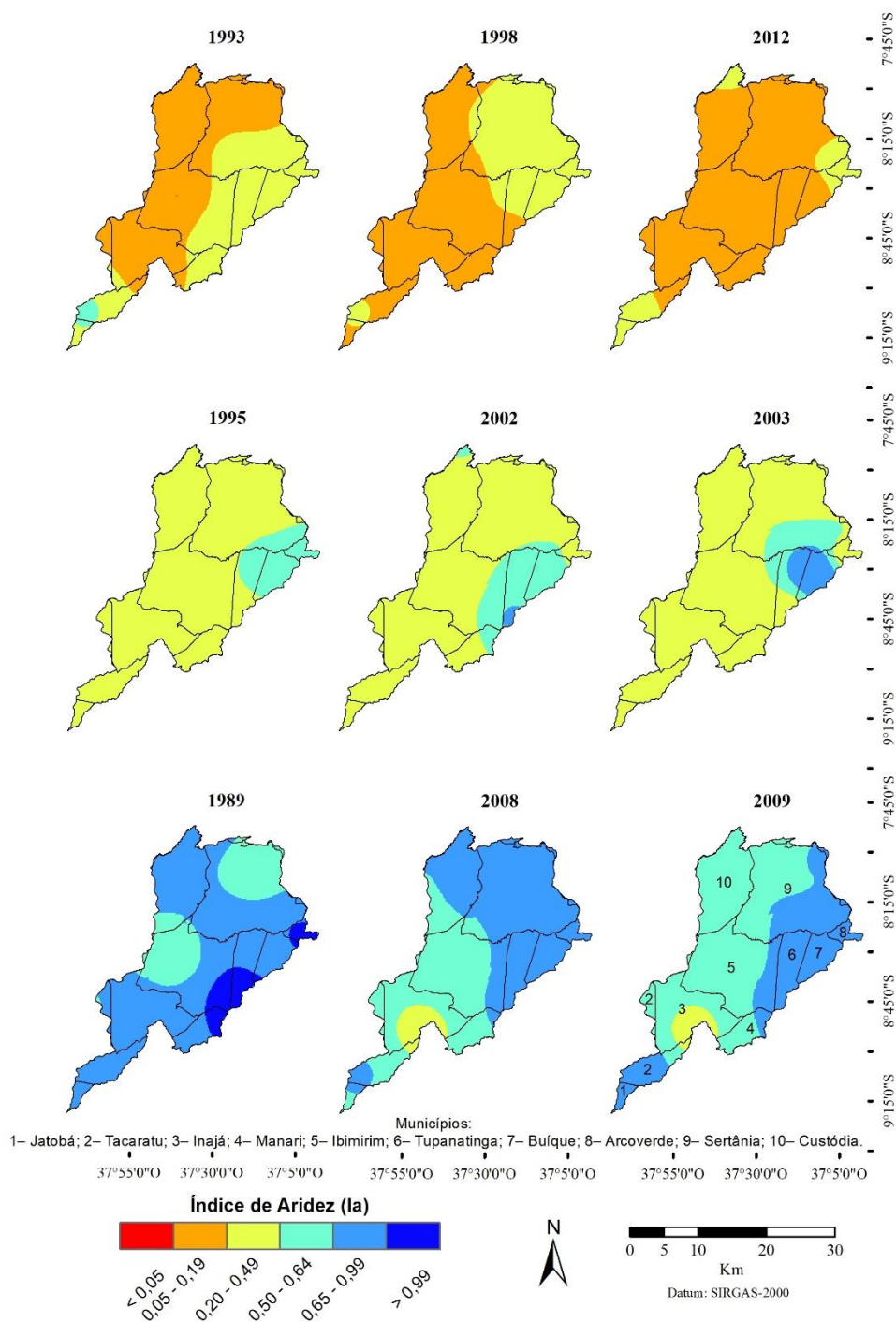
Em conformidade, Siqueira *et al.*, (2016) ao analisarem o BHC e o processo de desertificação em diferentes municípios de Pernambuco verificaram que Petrolândia apresenta *déficit* hídrico, proeminentes valores de ETP, não possui excedente hídrico e reposição de chuvas concentradas apenas em alguns meses do ano; concluindo que Petrolândia possui maior suscetibilidade a ocorrência do processo de desertificação.

A Figura 12 representa os mapas do Índice de Aridez (IA) para os anos secos, habituais e chuvosos. Com relação aos anos extremamente secos (1993, 1998, e 2012), obteve-se o valor médio anual do Índice de Aridez (IA) entre 0,05 – 0,19.

Para os anos com precipitações habituais (1995, 2002 e 2003) predominou a classe 0,20 – 0,49. Contudo, na porção oeste da bacia hidrográfica o IA ficou entre 0,5 e 0,99. Esse índice mais alto ficou mais evidente no ano de 2003 nos municípios de Tupanatinga, Buíque e Ibimirim. Na espacialização dos anos com chuvas extremas

(1989, 2008 e 2009), verificou-se um aumento significativo nos valores do IA, majoritariamente na classe 0,65 – 0,99. O ano de 1989 obteve um valor médio de 0,8 e 0,6 para os anos de 2008 e 2009. O único ano que o IA ficou acima de 0,99 foi 1989.

Figura 12: Mapas do Índice de Aridez (IA) dos anos secos, habituais e chuvosos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Entre os anos de 2008 e 2009 é possível observar uma diminuição do IA na direção oeste-leste, reduzindo para a classe 0,50 – 0,64, revelando localidades com IA abaixo de 0,49, a exemplo do município de Inajá (3). De acordo com Kayano (2016) em anos de baixa pluviosidade o Índice de Aridez (IA) é maior e em anos de alta pluviosidade o IA é menor. Assim, em referência ao gráfico da Figura 10, tendo em vista que o IA acompanha o volume de precipitação (P).

A sua distribuição espaço-temporal para os anos extremamente secos (1993, 1998 e 2012) há predominância da classe 0,05 - 0,19 em todos os representantes para os anos muito secos, sendo a classe dominante na quase totalidade da extensão da bacia do rio Moxotó para o ano e 2012. No entanto, para o ano de 1993 e 1998 obteve-se valores expressivos da classe 0,20 – 0,49 no setor leste e nordeste, respectivamente.

De acordo com Cerqueira *et al.* (2020) no intervalo de 1998 a 2002 os valores de IA aumentaram significativamente, pois a região do Sertão Pernambucano apresentou valores de pluviosidade abaixo da média e elevadas taxas de evapotranspiração potencial (ETP). Segundo as análises de Terassi *et al.*, (2018), Viegas *et al.*, (2019) e os dados evidenciados pelo *Oceanic Niño Index* – ONI (NOAA, 2023) foi revelado que o *El Niño* mais expressivo em escala climática global, que ocasionou uma forte seca na região Nordeste do Brasil pôde ser observado entre 1997 e 1998.

Considerando os dados obtidos e representados pela Tabela 8 verifica-se que em todos os representantes dos anos extremamente secos houve a ocorrência de uma suscetibilidade muito alta ao processo de desertificação, conforme a Figura 5 em razão de uma escassez hídrica severa, causada por baixos volumes de precipitação, reflexo do comportamento anômalo do ENOS e do Dipolo do Atlântico.

A Tabela 7 demonstra que dentro da peculiaridade hidroclimática do Semiárido do Brasil (SAB) a suscetibilidade à desertificação foi alta para os anos habituais. Esta condição é reflexo de uma irregularidade na distribuição espaço-temporal da precipitação, ficando concentradas em determinadas áreas, e pela atuação habitual dos sistemas atmosféricos que agem sobre a região.

Tabela 7: Classificação climática e de suscetibilidade à desertificação a partir do Índice de Aridez (IA) para a bacia hidrográfica do rio Moxotó

Ano	Precipitação anual (mm)	IA	Classe climática	Suscetibilidade à desertificação
1989	926,7	0,75	Subúmido Úmido	Baixa
1993	221,0	0,17	Árido	Muito Alta
1995	491,2	0,39	Semiárido	Alta
1998	212,9	0,16	Árido	Muito Alta
2002	523,0	0,40	Semiárido	Alta
2003	500,9	0,39	Semiárido	Alta
2008	782,1	0,63	Subúmido Seco	Moderada
2009	797,0	0,62	Subúmido Seco	Moderada
2012	2012	0,17	Árido	Muito Alta

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

Por fim, os dados revelam que a suscetibilidade à desertificação reduz drasticamente, alcançando níveis baixos ou moderados à medida que as precipitações e a disponibilidade hídrica sejam elevadas.

Ao observar os dados da Tabela 7 evidencia-se que os valores de IA obtidos para os anos representantes dos períodos secos, regulares e/ou habituais e chuvosos, respondem diretamente à demanda hídrica do período estudado, obedecendo à variabilidade interanual de chuvas, conforme explicitado na Figura 5. Ou seja, a severidade e intensidade do Índice de Aridez é reflexo do volume precipitado, em anos chuvosos o IA aumenta e em anos secos o IA reduz, salvo em anos regulares onde o IA encontra-se em classes intermediárias.

Portanto, a partir da avaliação e identificação das principais variáveis do hidroclima, não foi observada alterações nos padrões com características duradouras do processo de desertificação (Vasconcelos Sobrinho, 1978; Feng e Fu; 2013; Barreto, Cezário; Oliveira, 2019; Sterk; Stoorvogel, 2020) para a bacia hidrográfica do rio Moxotó, pois a classe climática apresenta variação interanual em função de sua disponibilidade hídrica e dos sistemas atmosféricos atuantes, não sendo verificada uma predominância de determinada classificação climática, mas uma alternância e consequentemente uma ciclicidade de classes climáticas.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os parâmetros de precipitação, temperatura média do ar e evapotranspiração potencial (ETP) analisados demonstraram a excepcional variabilidade espaço-temporal. Tais variações influenciam o Índice de Aridez, o qual é primordial para classificação de suscetibilidade à desertificação. Os resultados possibilitaram compreender as variações estacionais e espaciais de tais parâmetros.

Os acumulados pluviais concentram-se nos primeiros meses do ano, revelando expressiva irregularidade espaço-temporal na bacia hidrográfica do rio Moxotó. As precipitações ocorrem por causa da determinação ou influência dos sistemas atmosféricos que atuam na região como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), sistemas frontais e os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), além do Dipolo do Atlântico, e do *El Niño* Oscilação Sul, além de receber influência da geomorfologia local na distribuição da umidade.

A temperatura média do ar é elevada aumentando gradativamente na direção leste-oeste da bacia, com maiores valores entre os meses de dezembro a março, no mesmo sentido a evapotranspiração potencial (ETP) apresentou o mesmo comportamento espaço-temporal, uma vez que está diretamente relacionada com a variação da temperatura do ar.

As proeminentes taxas de ETP para a bacia hidrográfica analisada, bem como sua estacionalidade, revelam a expressiva deficiência hídrica que se manifesta por toda a extensão da bacia, expondo a região a um quadro geoambiental suscetível ao processo de desertificação do ponto de vista hidroclimático.

O Índice de Aridez proposto por Thornthwaite (1948) e aplicado para área de estudo demonstrou sua variabilidade espaço-temporal em função dos volumes totais precipitados e prevalecimento da classificação climática semiárida, onde todas as localidades apresentaram efetivo grau de suscetibilidade variando entre as classes moderada à alta.

Apesar da suscetibilidade ambiental ao processo de desertificação, em função de suas características hidroclimáticas, geográficas e biofísicas da bacia hidrográfica

do rio Moxotó, as tendências de variações climáticas revelaram-se nulas ou estatisticamente pouco significativas, uma vez que há a existência de um movimento cíclico entre os períodos secos e chuvosos, em que o IA progride ou regride em função da disponibilidade hídrica da região.

A classificação climática revelou a predominância da classe semiárido, não sendo verificada uma alteração expressivamente duradoura da condição climática da bacia hidrográfica do rio Moxotó. Com isto as características climáticas permanecem estabilizadas ao longo do período analisado.

É fundamental a continuidade do monitoramento dos parâmetros analisados, com o intuito de verificar possíveis mudanças, bem como o monitoramento dos sistemas atmosféricos a fim de auxiliar nas tomadas de decisões nas ocorrências de eventos extremos. Devido à suscetibilidade ao processo de desertificação se faz necessário uma análise de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Moxotó, com intuito de verificar as alterações antrópicas, levando em consideração as atividades econômicas e realização de análise da cobertura vegetal.

Há necessidade de rever os aportes teóricos sobre a desertificação no Brasil e desmistificar esse fenômeno para não cair em limitações conceituais. Recomendam-se estudos com os outros indicadores de desertificação para que se possa obter uma visão holística da área. Devido à área ser climaticamente suscetível a esse processo, deve-se ter um aporte teórico consolidado caso haja a necessidade de políticas públicas com a finalidade de buscar meios eficazes de mitigação e combate à desertificação.

REFERÊNCIAS

- ABIDOUN, O. O.; GUAN, H., POST, V. E. A.; BATELAAN, O. Comparison of MODIS and SWAT evapotranspiration over a complex terrain at diferente spatial scales. **Hydrology and Earth System Sciences**, Gottigen, n. 22, p. 2775-2794, 2018. Disponível em: <<https://hess.copernicus.org/articles/22/2775/2018/>>. Acesso em: 12 nov. 2023.
- ABREU, T. C. de. **Aplicação do índice de aridez e índice de vegetação por diferença normalizada para a análise da susceptibilidade à desertificação no município de Irauçuba – CE**. 2018. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/45643>>. Acesso em: 12 nov. 2023.
- ACCIOLY, L.J. de O. **Degradação do solo e Desertificação no Nordeste do Brasil**. Embrapa Solos, 2010. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/876529>>. Acesso em: 04 jun. 2023.
- ACCIOLY, L. J. de O.; SILVA, A. B. da.; ANGELOTTI, F.; SA, I. B.; SILVA, E. A da.; PEREIRA, A. G. de S. **Mudanças climáticas e desertificação**. In: XIMENES, L. F.; SILVA, M. S. L. da; BRITO, L. T. de L. (Ed). *Tecnologias de convivência com o Semiárido brasileiro*. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, p. 161-186, 2019. ISBN: 978-85-68360-28-6. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1111291>>. Acesso em: 16 abr. 2023.
- AKBARI, M.; SHALAMZARI, M. J.; MEMARIAN, H.; GHOLAMI, A. Monitoring desertification processes using ecological indicators and providing management programs in arid regions of Iran. **Ecological Indicators**, v. 111, p. 106011, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/340353687_Monitoring_desertification_processes_using_ecological_indicators_and_providing_management_programs_in_arid_regions_of_Iran>. Acesso em: 04 jun. 2023.
- ALMEIDA, L. D. de. Suscetibilidade: novo sentido para vulnerabilidade. **Revista Bioética**, Lisboa, Portugal, v. 18, n. 3, p. 537 – 548, 2010. Disponível em: <https://revistabioetica.cfm.org.br/index.php/revista_bioetica/article/view/582>. Acesso em: 06 mai. 2023.
- ALMEIDA, H. A; GALVANI, E. Índices de aridez nos núcleos de desertificação da Paraíba. **Conjecturas**, v. 21, n. 14, p. 838-850. 2022. DOI: 10.53660/CONJ-1817-2M19. Disponível em: <<https://conjecturas.org/index.php/edicoes/article/view/1817>>. Acesso em: 12 out. 2023.
- ALVES, K. M. A. da S. **Variabilidade pluvial no semiárido brasileiro: Impactos e vulnerabilidades na paisagem da bacia hidrográfica do rio Moxotó**. 2016. 164 f. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/18726>>. Acesso em: 03 out. 2023.

ALVES, J. M. dos. **Indicadores de desertificação no Semiárido Brasileiro**: o caso de Campo Formoso – Bahia. 2016. 471 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói, RJ, 2016.

AL-KULABI, A. K. J. The concept of desertification, its causes and effects, and treatments. **Journal La Lifesci**. v. 03, n. 1, p. 1-13. 19 fev. 2022. Disponível em: <<https://newinera.com/index.php/JournalLaLifesci/article/view/550>>. Acesso em: 04 jun. 2023.

AMARO, V. E.; CARVALHO, R. C.; MATOS, M. F. A. de.; INGUNZA, M. P. D.; SCUDELARI, A. C. Avaliação da suscetibilidade do solo à erosão nas falésias do litoral do estado do Rio Grande do Norte – RN. São Paulo: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, n. 1, p. 3 - 25, jan-mar. 2021. Disponível em: <<https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1887>>. Acesso em: 27 jan. 2023.

APAC. AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Bacias hidrográficas – Bacia do rio Moxotó**. Disponível em: <<https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas-rio-moxoto/167-bacias-hidrograficas-rio-moxoto/198-bacia-do-rio-moxoto>>. Acesso em: 14 dez. 2023.

APAC. AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Monitoramento pluviométrico**. Disponível em: <<https://www.apac.pe.gov.br/monitoramento>>. Acesso em: 06 fev. 2023.

ARAGHI, A.; MARTINEZ, C. J.; ADAMOWSKI, J.; OLESEN, J. E. Spatiotemporal variations of aridity in Iran using high-resolution gridded data. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 6, p. 2701-2717, 2018. Disponível em: <<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.5454>>. Acesso em: 09 abr. 2023.

ARAÚJO, S. M. S.; LIMA, E. R. V. de. Desertificação e Semiárido Brasileiro: Índices e indicadores biofísicos e socioeconômicos. **Mnemosine Revista**, Campina Grande, v. 8, n. 4, p. 397- 422, 2017. Disponível em: <<https://mnemosinerevista.com/index.php/revista/issue/view/33>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

ARAÚJO, S. M. S. (org.); LIMA, E. R. V. de (org). **Desertificação no Semiárido brasileiro e paraibano: abordagens conceituais, metodologias e indicadores**. Paulo Afonso – BA: SABEH, 2019. ISBN: 978-85-5600-047-7. *E-book* (150 p.). Disponível em: <<https://sabeh.org.br>>. Acesso em: 19 mai. 2023.

ARIDEZ. In: **Michaelis**: moderno dicionário online da língua portuguesa. São Paulo: Editora Melhoramentos, 2023. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/>>. Acesso em: 24 mai. 2023.

ASCHONITIS, V. G.; TOULOUMIDIS, D.; TEN VELDHIUS, M. C.; COENDERS-GERRITS. Correcting Thornthwaite evapotranspiration formula using a global grid of local coefficients to support temperature-based estimations of reference evapotranspiration and aridity indices. **PANGAEA - Earth and Environmental Science**, 2021. Disponível em: <<https://essd.copernicus.org/articles/14/163/2022/>>. Acesso em: 15 out. 2023.

AUBRÉVILLE, A. **Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale**. Paris: *Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales*, 351 p. 1949. Disponível em:

<<https://bibliotheques.mnhn.fr/medias/doc/EXPLOITATION/HORIZON/21363/climats-forets-et-desertification-de-l-afrique-tropicale>>. Acesso em: 23 jan. 2023.

AVILA, P. L. R.; BRITO, J. I. B. de. Relação entre a Oscilação Decadal do Pacífico e a variabilidade de precipitação de Campina Grande, PB. **Ciência e natureza**, v. 37, n. 1, p. 159 - 162, 2015. Disponível em:

<<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/16232>>. Acesso em: 01 ago. 2023.

BARRETO, L. L.; CEZÁRIO, A. R. V.; OLIVEIRA, V. P. V. O conceito de desertificação: construção histórica, críticas e potencialidades. **Revista Verde Grande**, v. 1, n. 02, p. 68 - 80, 2019. Disponível em:

<<https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/verdegrande/article/view/745>>. Acesso em: 12 out. 2023.

BARROS, K. O. **Índice de aridez como indicador de suscetibilidade à desertificação na mesorregião norte de Minas**. 2010. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2010. Disponível em:

<http://www.cecs.unimontes.br/biblioteca_virtual/detalhardoc.php?id=246&tipo=monografias&menu=dedmt>. Acesso em: 07 out. 2023.

BELFORT, C. F. N. L. de A. e L.; BARBOSA, I. R. B.. Avaliação da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó em Pernambuco utilizando geoprocessamento. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 15., 2011, Curitiba, PR, Brasil. **Anais** [...] 30 de abr. a 5 de mai. 2011, INPE, p. 1137. Disponível em:

<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.01.14.03/doc/p1388.pdf> <>. Acesso em: 03 out. 2023.

BRANDT, J.; GEESON, N. Desertificação e Indicadores, 2008. Disponível em: <https://desertificacao.pt/images/docman-files/lucinda/A2_Booklet_Final_PT_rev3.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2023.

BRASIL, Senado Federal. **Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Rio 92. Agenda 21. Brasília: Senado Federal; Subsecretaria de Edições Técnicas. 1995. Disponível em:

<<https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/S7D00001.pdf>> Acesso em: 05 abr. 2023.

BRASIL, Lei 13.153, de 30 de julho de 2015. Institui a Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca e seus Instrumentos. Brasília: Presidência da República, Secretaria-Geral, 2015. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13153.htm>. Acesso em: 22 ago. 2023.

BRIASSOULIS, H. Combating land degradation and desertification: The land-use panning quandary. **Land**, v. 8, n. 2, p. 27, Department of Geography, University of

Aegean, Greece. 01 fev. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/8/2/27?type=check_update&version=1>. Acesso em: 04 jun. 2023.

BRIASSOULIS, H. Desertification. *In*: STEEL, B. S. **Science and Politics: An A to Z Guide to Issues and Controversies**. Thousand Oaks, CA, USA: CQ Press, 2014. p. 138 – 145.

BRIASSOULIS, H. Complex Environmental Problems and the Quest for Policy Integration. *In*: BRIASSOULIS, H. **Policy Integration for Complex Environmental Problems: The Example of Mediterranean Desertification**. Cheltenham, UK: Ashgate, 2019. p. 1 – 49. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-445X/8/2/27>>. Acesso em: 10 dez. 2023.

CABRAL JÚNIOR, J. B.; BEZERRA, B. G.. Análises da evapotranspiração de referência e do índice de aridez para o Nordeste do Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, n. 1, p. 71 - 89, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/14746>>. Acesso em: 04 jun. 2023.

CARVALHO, V. C. de. Abordagem multiescalar para o monitoramento de indicadores do processo de desertificação. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais** [...]. 2001. p. 1539 - 1551.

Disponível em

;<https://www.researchgate.net/publication/43785205_Abordagem_multiescala_para_o_monitoramento_de_indicadores_do_processo_de_desertificacao>. Acesso em: 25 nov. 2023.

CAVALCANTE, G. de P. **As chuvas na região agreste da Borborema, Nordeste do Brasil**: Proposta de setorização climática sob o enfoque da análise rítmica. 2019. 165 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, Paraíba, 2019. Disponível em:

<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/22066?locale=pt_BR>. Acesso em: 09 jun. 2023.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Brasil, v. 10, n. 1, p. 140 – 147, 2006. Disponível em: <

<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/VpWSFWpznshzkVvQQdCLDhy/?lang=pt> >. Acesso em: 13 jan. 2023.

CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. da S. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CAVALCANTI, E. P.; MARIANO, E. B. Têndecia do Vapor d'água na Atmosfera Mediante dados do NCEP/NCAR. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 564 – 569, 2016. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/GHh79SmbLpBq8BjsvWtNctD/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17/07/2024.

CERQUEIRA, M. A.; RODRIGUES, F. M.; ALMEIDA, G. V. L. de. Susceptibilidade a desertificação para o estado de Pernambuco. **Geosul**, Florianópolis, v. 35, n. 76, p. 151 – 170, 2020. Disponível em:

<<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/56516>>. Acesso em: 27 mar. 2023.

CLIMANÁLISE. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. Cachoeira Paulista – SP: INPE/CPTEC, 2008, v. 22, n. 4. 40p. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/pdf08/dez08.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

CONTI, J. B. O conceito de desertificação. **Climatologia e Estudos da Paisagem – CLIMEP**. Rio Claro: São Paulo. vol. 3, n. 2, p. 39-52, jul./dez. 2008. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/climatologia/article/view/2091>>. Acesso em: 17 jun. 2023.

CONTI, J. B. **Clima e Meio Ambiente**. 6. ed. São Paulo: Atual, 2010.

COSTA, S. A. T. da; BEZERRA, A. C.; ARAÚJO, A. M. Q.; SILVA, M. F. da S.; CRUZ, J. F. da.; ALVES, R. M.; SOUZA, L. S. B. de. Dinâmica espaço-temporal das anomalias de precipitação em uma região semiárida, Nordeste do Brasil. **Revista Gest. Água Am. Lat.**, Porto Alegre, v. 18, e. 14, 2021. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/223/62f212b7772228acef6a2d72ffa9ddc9_514dc27bc5afbb8e669fafee2541ce6.pdf>. Acesso em: 13 set. 2023.

COSTA JÚNIOR, J. B.; LUCENA, R. L.; SILVA, J. F. da.; REIS, J. S. dos.; RODRIGUES, D. T. Considerações sobre a evapotranspiração estimada pelo algoritmo sebal no semiárido brasileiro. **Northeast Geosciences Journal**, v. 7, n. 1, p. 46 - 51, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/21245>>. Acesso em: 07 set. 2023.

COSTA, R. L.; BAPTISTA, G. M. M.; GOMES, H. B.; SILVA, F. D. S.; ROCHA JÚNIOR, R. L.; SALVADOR, M. A.; HERDIES, F. L. Analysis od climate extremes índices over northeast Brazil from 1961 to 2014. **Weather and Climate Extremes**, Amsterdã, v. 28. p. 100254, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/340005845_Analysis_of_climate_extremes_indices_over_northeast_Brazil_from_1961_to_2014>. Acesso em: 25 nov. 2023.

CHU, J. T.; XIA, J.; XU, C. Y.; SINGH, V. P. Statistical reduction of average daily temperature basin evaporation and precipitation for climate change scenarios in the Haihe river, China. **Teor. Appl. Climatol.** v. 99, 149 - 161, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/226842439_Statistical_Downscaling_of_Daily_Mean_Temperature_Pan_Evaporation_and_Precipitation_for_Climate_Change_Scenarios_in_Haihe_River_China>. Acesso em: 05 dez. 2023.

CHUN, J. A.; BAIK, J.; KIM, D.; CHOI, M. A. Comparative assessment of SWAT-model-based evapotranspiration Against regional-scale estimates. **Ecological Engineering**, Amsterdã, v. 122, p. 1 - 9, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/326569586_A_comparative_assessment_of_SWAT-model-based_evapotranspiration_against_regional-scale_estimates>. Acesso em: 20 abr. 2023.

CHEN, H; TONG, S. T. Y.; YANG, Y. J. Simulating the hydrologic impacts of land-cover and climate changes in a semi-arid watershed. **Hydrological Sciences**

Journal – Journal des Sciences Hydrologiques, v. 60, n. 10, p. 1739 - 1758, 2015. Disponível em:

<<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2014.948445>>. Acesso em: 04 jun. 2023.

CRUZ NETO, J. F.; JARDIM, A. M. R. F.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, T. G. F.

Desertificação: uma visão geral dos processos e conceitos, fundamentados em aplicação de índices orbitais através do sensoriamento remoto. **Research Society and Development**, v. 10, n. 11, p. 1-16, 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/354539317_Desertificacao_uma_visao_geral_dos_processos_e_conceitos_fundamentados_em_aplicacao_de_indices_orbitais_atraves_do_sensoriamento_remoto>. Acesso em: 05 nov. 2023.

DAVIS, D. K. Deserts and drylands before the age of desertification. In: BEHNKE, Roy; MORTIMORE, Michael (Ed.). **The End of Desertification?** Berlim, Heidelberg: Springer, p. 203 - 223, 2016. Disponível em: <

https://www.researchgate.net/publication/301320729_Deserts_and_Drylands_Before_the_Age_of_Desertification>. Acesso em: 19 out. 2023.

DIAZ, C. C. F. **Precipitação e produtividade agrícola na bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE: variabilidade anual e interanual**. 2017. 140 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/27554>>. Acesso em: 01 nov. 2023.

D'ODORICO, P.; BHATTACHAN, A.; DAVIS, K. F.; RAVI, S.; RUNYAN, C. W. Global Desertification: Drivers and Feedbacks. **Advances in Water Resources**. Elsevier, n. 51, p. 326 – 344, 2013. Disponível em: <

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309170812000231>>. Acesso em: 03 set. 2023.

ESCOBAR, G. C. J. **Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS): Critério de Detecção para Uso em Centros Operacionais de Precisão do Tempo**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2019. 19 p. Disponível em: <http://mtc-m21c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/01.07.12.08/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023.

EVANS, M. **Everything you need to know about drylands**. Landscape News. 2021. Disponível em: <<https://news.globallandscapesforum.org>>. Acesso em: 02 mai. 2023.

FILGUEIRAS, R.; ALMEIDA, T. S.; MANTOVANI, E. C.; S. H. B., FERNANDES-FILHO, E. O., DA CUNHA, F. F.; VENANCIO, L. P. Soil water content and actual evapotranspiration predictions using regression algorithms and remote sensing data. **Agricultural Water Management**, Amsterdã, v. 241, p. 106346, 2020. Disponível em: <<https://pdf.sciencedirectassets.com/271238/1-s2.0-S0378377420X00114/1-s2.0-S0378377420303097/am.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2023.

FENG, S.; FU, Q. Expansion of global drylands under a warming climate.

Atmospheric Chemistry and Physics v. 13, n. 19, p. 10081 - 94, 2013. Disponível em: <<https://acp.copernicus.org/articles/13/10081/2013/acp-13-10081-2013.html>>. Acesso em: 04 jun. 2023.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L.; AMORIM, A. de O.; CARDOSO, A. S. **Índices para a quantificação da seca**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/663874/indices-para-a-quantificacao-da-seca>>. Acesso em: 02 abr. 2023.

FERREIRA, M. N.; SANTANA, M. J. de.; CHAVES, H. H.; OLIVEIRA, M. E. F. de.; FERNANDES, A. L. T.; CALZADO, M. A. Estimativa da evapotranspiração e dos coeficientes de cultivo da cultura da beterraba. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 14, n. 4, p. 4141 - 4153, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/349133271_Estimativa_da_evapotranspiracao_e_dos_coeficientes_de_cultivo_da_cultura_da_beterraba>. Acesso em: 05 jun. 2023.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. da S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15 - 28, dez. 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/58504?mode=full>>. Acesso em: 04 jun. 2023.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M. de; ARAÚJO, W. R. de; HOLANDA, R. M. de. Variabilidade dos índices de aridez e aplicabilidade da equação de perda do solo no município de Amparo do São Francisco – Sergipe, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. 1 - 25, 08 out. 2020. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/8756/7931/124347>>. Acesso em: 05 mar. 2023.

FU, Q.; FENG, S. Responses of terrestrial aridity to global warming. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**. p. 119, JD021608, 2014. Disponível em: <<https://atmos.uw.edu/~qfu/Publications/jgr.fu.2014.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2023.

GALVINCIO, J. D.; OLIVEIRA, T. H.; SILVA, H. A.; ARAÚJO, M. S. B. Análise espacial da precipitação e estudo da viabilidade da captação de água de chuva e armazenamento em cisternas, no estado do Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, n. 1, p. 05-13, 2008. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/view/232601>>. Acesso em: 06 jun. 2023.

GARCIA, A. C. S. de M. **Estudo espaço-temporal de áreas susceptíveis à desertificação no semiárido brasileiro**. 2018. 142 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/handle/123456789/76>>. Acesso em: 05 mar. 2023.

GENDRE, I. **Desertification: Definition, Causes, and Impacts**. Greenly Earth. 3 abr. 2023. Disponível em: <<https://greenly.earth/en-us/blog/ecology-news/desertification-definition-causes-and-impacts>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

GENG, H.; PAN, B.; HUANG, B.; CAO, B.; GAO, H. The spatial of precipitation and topography in the Qilian Shan Moutains, northeastern Tibetan Plateau. **Geomorphology**, v. 297, p. 43-54, 2017. Disponível em: <

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X17303628> >. Acesso em: 21 nov. 2023.

GIRÃO, I. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade. Caicó: **Revista de Geociências do Nordeste** - UFRN, v. 4, p. 71-83, 2018, DOI: 10.21680/2447-3359.2018v4n0ID13273, n. especial: I Workshop do Grupo de Pesquisa Gerenciamento dos Riscos e Desastres Naturais. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/13273>>. Acesso em: 04 jun. 2023.

GREVE, P.; RODERICK, M. L.; SENEVIRATNE, S. I. Simulated changes in aridity from the last glacial maximum to 4xCO₂. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 11, p. 114021, 2017. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa89a3>>. Acesso em: 21 ago. 2023.

HUANG, J.; YU, H.; DAI, A. *et al.*; Drylands face potential threat below 2°C global warming target. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 6, p. 417-422, 2017. Disponível em: <<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2017NatCC...7..417H/abstract> >. Acesso em: 09 nov. 2023.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Geociências, 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 26 mar. 2023.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge Press. [S. I.]. 2014. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 03/03/2023.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Global Warming of 1.5°C. Cambridge Press. [S. I.]. 2018. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 09/03/2023.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge Press. [S. I.]. 2022. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 16/03/2023.

JIN, Z.; LIANG, W.; YUTING, Y.; ZHANG, W.; YAN, J.; CHEN, X.; LI, S.; MO, X. Separating vegetation greening and climate change controls on evapotranspiration trend over the Loess Plateau. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1 - 15, 2017. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41598-017-08477-x>>. Acesso em: 22 ago. 2023.

KASHYAP, D. **Aridity: Definition and Its Causes od Aridity**. Your Article Library. 3 abr. 2023. Disponível em: <>. Acesso em:

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V.; GUEDES, R. L.; OYAMA, M. D.; ALVES, M. A. S. A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 2, p. 337 - 344, 2004. Disponível em: <http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/walmeida/2004/04.08.13.49/doc/Andreoli_A%20inf>

luencia%20da%20temperatura%20da%20superfície%20do%20mar>. Acesso em: 26 set. 2023.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A. F.; GARCIA, S. R.; CALHEIROS, A. J. P. El Niño e La Niña dos últimos 30 anos: diferentes tipos. **Climanálise**, 2016.

Disponível em: <

<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/Kayanoetal.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2023.

KELLEY, A. R.; SANDWEISS, D. H.; ANDRUS, C. F. T.; MAASCH, K. A., REITZ, E. J.; ROSCOE, P. B. Archaeological climate proxies and the complexities of reconstructing Holocene El Niño in coastal Peru. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 15, p. 8271 - 8279, 2020. Disponível em:

<<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1912242117>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Rio Claro: UNESP, 2000. Disponível em: <

<https://www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariaAmbiental/robertowlourenco/dicas-surfer-01.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2023.

LEITE, J. P. A.; SÁ, L. N. de.; FILHO, G. B. da R. F. Fatores climáticos atuantes no semiárido de Pernambuco: Uma abordagem didática da Geografia em sala de aula. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL DAS LICENCIATURAS, 7., 2020, [online]. Recife: **PDVL**, 2020. p. 1-20. Disponível em: <<https://ijet-pdvl.com/index.php/pdvl/article/view/177>>. Acesso em: 04 jul. 2023.

LIMA, N. da S. **Estimativa de evapotranspiração potencial no semiárido baiano a partir de imagens termais**. 2019. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade Estadual de Feira de Santana – BA, 2019. Disponível em:

<<http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/869>>. Acesso em: 03 ago. 2023.

LIRA, T. A. G. **Caracterização espaço-temporal das secas sobre o Brail nas últimas décadas (1981-2016)**. 2019. 160 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, SP. 2019. Disponível em: <

https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/INPE_c8c3c8676224a17d7513b2a1abdd89b8>. Acesso em: 13 out. 2023.

LIU, W.; MA, N.; SZILAGYI, J.; ZHANG, Y. Complementary-relationship-based modeling of terrestrial evapotranspiration across China during 1982-2012: validations and spatiotemporal analyses. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 124, n. 8, p. 4326 - 4351, 2019. Disponível em:

<<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018JD029850>>. Acesso em: 12 set. 2023.

LOPES, I.; SANTOS, S. M. dos; LEAL, B. G.; MELO, J. M. M. de. Variação do índice de aridez e tendência climática à desertificação para a região semiárida do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1014 - 1026, 2017. Disponível em:

<<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/234098>>. Acesso em: 23 out. 2023.

LYRA, M.; BONFIM, O. T.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V. Diagnóstico de um Complexo Convectivo de Mesoescala Observado no Semiárido do Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 06, p. 1998-2009, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/237254>>. Acesso em: 30 ago. 2023.

MAGALHÃES, A. R.; Vida seca no Brasil. *In*: NYS, E; ENGLE, N. L., MAGALHÃES, A. R.; **Secas no Brasil: política e gestão proativas**. Brasília, DF: Centro de gestão e estudos estratégicos – CGEE, 2016. 296 f. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/seca_brasil-web.pdf/793de1a2-157e-4098-b84a-9d2348266252?version=1.4>. Acesso em: 12 jul. 2023.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E.; A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro, *In*: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande (PB): Instituto Nacional do Semiárido – INSA, 2011. p. 383 - 416. Disponível em: <http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2011/06.11.02.16/doc/Marengo_Variabilidade.pdf?languagebutton=en>. Acesso em: 10 dez. 2023.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanalise**, v. 3, n. 1, p. 49 - 54, 2016. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/marengoetal.pdf> <>. Acesso em: 03 jul. 2023.

MARENGO, J. A., BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought condition over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, v. 129, n. 1-2, p. 103 - 115, 2015. Disponível em: <<https://ideas.repec.org/a/spr/climat/v129y2015i1p103-115.html>>. Acesso em: 21 jun. 2023.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; ALVALÁ, R. C. S.; CUNHA, A. P. M. A.; BRITO, S. S. B.; MORAES, O. L. L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1973 - 1985, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/aabc/a/MTyRKxxGcdwCvVhGNJNTrbG/?lang=en>>. Acesso em: 21 mai. 2023.

MARRA, F.; MORIN, E. Autocorrelation structure of convective rainfall in semiarid-arid climate derived from high-resolution X-band radar estimates. **Atmospheric Research**, v. 200, p. 126-138, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169809517309936>>. Acesso em: 02 dez. 2023.

MARTINS, E. S. P. R.; COELHO, C. A. S.; HAARSMA, R.; OTTO, F. E. L.; KING, A. D.; VAN OLDENBORGH, G. J.; KEW, S. P.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. C.; CULLEN, H. Multimethod attribution analysis of the prolonged northeast Brazil hydrometeorological drought (2012-16). **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 99, n. 1, p. 65 - 69, 2018. Disponível em: <https://www.ametsoc.net/eee/2016/ch13.pdf> <>. Acesso em: 10 dez. 2023

MARTINS, M. A.; TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D. A.; ALVALÁ, R. C. S.; GIAROLLA, A.; GAROFOLO, L. L.; SIQUEIRA JÚNIOR, J. L.; PAOLICCHI, L. T. L. C.; PINTO, G. L. N. Improving drought management in the Brazilian semiarid through crop forecasting. **Agricultural Systems**, v. 160, p. 21 - 30, 2018. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/agisys/v160y2018icp21-30.html>. Acesso em: 10 dez. 2023.

MATALLO JÚNIOR, H. **Indicadores de desertificação: histórico e perspectiva**. Brasília: UNESCO, 2001. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000129871>. Acesso em: 23 mar. 2023.

MATALLO JUNIOR, H.. A desertificação no mundo e no Brasil. *In*: SCHENKEL, Celso S. e MATALLO JUNIOR, Heitor (Org). **Desertificação**. Brasília: UNESCO 2° ed., 2003, p. 12-25. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/ue000056.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2023.

MATALLO JUNIOR, H. (Org.). Glossário de termos e conceitos usados no contexto da UNCCD. Brasília: MMA, 2009. Disponível em: <http://repiica.iica.int/docs/B2250p/B2250p.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2023.

MEDEIROS, F. J.; LIMA, K. C. de; CAETANO, D. de A.; SILVA, F. J. de O.. Impacto da Variabilidade Interanual da Precipitação nos Reservatórios do Semiárido do Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, [online] v. 41, n. 3, p. 731 - 741. 2018. Disponível em: http://10.11137/2018_3_731_741. Acesso: 31 mar. 2023.

MELO, A. B. C.; NOBRE, P.; MELO, M. L. D.; SANTANA, S. C. **Estudo climatológico da posição da ZCIT no Atlântico Equatorial e sua influência sobre o Nordeste do Brasil**. p. 1142-1147, 2000. Disponível em: http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/walmeida/2003/08.12.09.04/doc/Melo_Estudo%20climatologico.pdf >. Acesso em:

MELO, A. B. C. de.; CAVALCANTI, I. F. de A.; SOUZA, P. P., Zona de Convergência Intertropical do Atlântico, 2009. *In*: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. da S. **Tempo e Clima no Brasil**. Oficina de Textos: São Paulo, Brasil, 2009.

MONTEIRO, J. B. A influência de teleconexões e sistemas meteorológicos produtores de precipitação no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 1, p. 312 - 332, 2022. Disponível em: <>. Acesso em:

MOURA, M. S. B.; ESPÍNDOLA SOBRINHO, J.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, W. M. Aspectos meteorológicos do Semiárido brasileiro. *In*: EMBRAPA. Tecnologias de convivência com o Semiárido. p. 85-104. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/228210735.pdf> >. Acesso em: 11 jul. 2023.

MUTTI, P.R.; DUBREUIL, V.; BEZERRA, G. B.; DAMIEN, A.; OLIVEIRA, C. P.; SANTOS E SILVA, C. M. Assessment of gridded CRU TS data for long-term climatic water balance monitoring over the São Francisco watershed. Brazil. **Atmosphere**, v. 11, n. 11, p. 1207, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/11/11/1207>>. Acesso em: 13 mar. 2023.

NASCIMENTO, F. R. do. **Degradação ambiental e desertificação no nordeste brasileiro: o contexto da bacia hidrográfica do rio Aracaú.** 2006. 340 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2006. Disponível em:

<<https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/17217/2003%20D%20Flavio%20Rodrigues%20do%20Nascimento.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 08 mai. 2023.

NICHOLSON, S. E. **Dryland Climatology.** Cambridge University Press: Florida State University, 2018, p. 151 – 161. Disponível em:

<https://assets.cambridge.org/97811084/46549/frontmatter/9781108446549_frontmatter.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2023.

NOAA. NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. National Weather Service. **Oceanic Niño Index: Cold and Warm episodes by season.** 2023. Disponível em: <

https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php>. Acesso em: 30 out. 2023.

NÓBREGA, M. R. R.; SILVA, M. V. M. da.; LIMA, C. E. S.; SILVA, G. K.; GONÇALVES, S. T. N.; SILVEIRA, C. da S. Impacto das Mudanças Climáticas na Aridez da Bacia Estendida do rio São Francisco, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 2, p.185 - 197, jul.-set. 2022. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/TnVSFc7pLFWdnkzGXY3xQZF/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 10 dez. 2023.

NOBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. L.; SANTOS, C. A. C. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 171 - 180, 2015. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/bJ7RXP4t3BGWwTzL6nXhRcR/>>. Acesso em: 10 dez. 2023.

OLITA, A., FAZIOLI, L., TEDESCO, C., SIMEONE, S., CUCCO, A., QUATTROCHI, G., RIBOTTI, A., PERILLI, A., PESSINI, F.; SORGENTE, R. Marine and Coastal Hazard Assessment for Three Coastal Oil Rigs. **Frontiers in Marine Science**, v. 6, n. 274, 28 mai. 2019. Disponível em:

<<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2019.00274/full>>. Acesso em: 04 jun. 2023.

OLSSON, L.; YENGOH, G. T.; DENT, D.; TENGBERG, A.; TUCKER, C. J. **Use of the normalized difference to assess land degradation at multiple scales: current status, future trends, and practical considerations.** Springer: EUA, 11 nov. 2015. 110p. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/321519105_Use_of_the_Normalized_Difference_Vegetation_Index_NDVI_to_Assess_Land_Degradation_at_Multiple_Scales>. Acesso em: 09 jul. 2023.

PENEREIRO, J. C.; GARCIA, V. F. V. Detecção de tendências hidroclimáticas interanual na bacia do rio São Francisco. *Revista DAE*, v. 65, n. 208, p. 88-107, 2017. Disponível em:

<http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_208_n_1687.pdf>. Acesso em: 08 out. 2023.

PENMAN, H. L. **The physical bases of irrigation control**. In: Hort. Congr., 2, London, Royal Horticultural Society, p.913 - 924. 1110p., 1953. Disponível em: <<https://repository.rothamsted.ac.uk/item/8w2z1/the-physical-bases-of-irrigation-control>>. Acesso em: 20 fev. 2023.

PERNAMBUCO. **Zoneamento das áreas suscetíveis à desertificação do estado de Pernambuco**. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Pernambuco: Recife - PE, dez. 2020. 137p. Disponível em: <<https://semas.pe.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/Relatorio-Zoneamento-de-areas-suscetiveis-a-desertificacao.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2023.

PIMM, S. L.; RAFFERTY, J. P. Desertification: description, causes & impacts. **Encyclopedia Britannica**, 2023. Disponível em: <<https://www.britannica.com/science/desertification>>. Acesso em 10 dez. 2023.

PRAVYALIE, R.; BANDOC, G.; PATRICHE, C. *et al.*; Recent changes in global drylands: Evidence from two large aridity databases. **Catena**, v. 178, p. 209-231, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/331863284_Recent_changes_in_global_drylands_Evidences_from_two_major_aridity_databases>. Acesso em: 02 nov. 2023.

PROUTSOS, N. D.; TSIROS, I. X.; NASTOS, P.; TSAOUSIDIS, A. A note some uncertainties associated with Thornthwaite's aridity index introduced by using different potential evapotranspiration methods. **Atmospheric Research**, v. 260, p. 105-727, 2021. Disponível em: <<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021AtmRe.26005727P/abstract>>. Acesso em: 14 nov. 2023.

REBOITA, M. S.; OLIVEIRA, K. R.; CORRÊA, P. Y. C.; RODRIGUES, R. Influência dos diferentes tipos do fenômeno El Niño na precipitação da América do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, p. 729 - 742, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/246845>>. Acesso em: 05 jul. 2023.

REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; ARMANDO, R. P.; FREITAS, C.; MARTINS, D.; MILLER, G. Causas da semiaridez do Sertão nordestino. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, n. 2, p. 254 - 277, 2016. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/13920>>. Acesso em: 25 abr. 2023.

RINALDY, N.; SARAGIH, I. J. A.; PUTRA, A. W.; NUGRAHANI, I. R.; YONAS, B. W. Identification of Mesoscale Convective Complex (MCC) phenomenon with image of Himawari 8 Satellite and WRF ARW Model on Bangka Island: case study 7-8 february 2016. **Earth and Environmental Science**, v. 98, 2017. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/98/1/012002/meta>>. Acesso em: 27 nov. 2023.

ROCHA, L. C. A. da.; BARROS, M. R. G. de.; RIBEIRO, G. N.; MEDEIROS, P. C.; OLIVEIRA, J. E. S. de. Análise de índices de aridez na microrregião Alto Capibaribe – PE. **Revista GEAMA – Ciências Ambientais e Biotecnologia**, v. 6, n. 3, p. 22 - 31, dez. 2020. Disponível em:

<<https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/3130>>. Acesso em: 02 abr. 2023.

ROCHA JÚNIOR, R. L. da.; SILVA, F. D. dos S.; COSTA, R. L.; GOMES, H. B.; GOMES, H. B.; SILVA, M. C. L. da.; PINTO, D. D. C.; HERDIES, D. L.; CABRAL JÚNIOR, J. B.; PITA-DIZ, O. Mudança de longo prazo e regionalização da evapotranspiração de referências no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. especial, p. 891 - 902, 2021. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/DswtTWGM9MmmB8m6h5L7V7c/?lang=pt>>. Acesso em: 21 out. 2023.

SANTOS, A. M., GALVÍNIO, J. D. Mudanças climáticas e cenário de susceptibilidade ambiental à desertificação em municípios do estado de Pernambuco. **Observatorium. Revista Eletrônica de Geografia**. v. 5, p. 66 - 83, 2013. Disponível em: <<http://www.observatorium.ig.ufu.br/pdfs/5edicao/n13/04.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2023.

SANTOS, J. M. dos. **Indicadores de desertificação no Semiárido Brasileiro: o caso de Campo Formoso – Bahia**. 2016. 471 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói, RJ, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jemison-Dos-Santos/publication/326645933_Indicators_of_Desertification_in_the_Brazilian_Semi-Arid_The_case_of_Campo_Formoso-Bahia/links/5d169db7458515c11c008d41/Indicators-of-Desertification-in-the-Brazilian-Semi-Arid-The-case-of-Campo-Formoso-Bahia.pdf. Acesso em: 10 dez. 2023.

SANTOS, F. A. dos; CRUZ, M. L. B. da; MENDES, L. M. S. Suscetibilidade biofísica a secas da sub-bacia hidrográfica do rio Piracuruca (CE-PI). **Boletim Goiano de Geografia**, v. 40: e63152, DOI: 10.5216/BGG.v40.63152, ISBN: 1984-8501, 2020. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/63152>>. Acesso em: 10 dez. 2023.

SANTOS, F. de A. dos. Resiliência ambiental a desastres naturais: conceitos e características. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 6, n. 19, ed. 202021. DOI: 10.187/2446-6549.e202021. 2020. Disponível em: <<https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/interespaco/article/view/12492>>. Acesso em: 08 fev. 2023.

SCHENKEL, C. S. e MATALLO JUNIOR, H. (Org). **Desertificação**. Brasília: UNESCO 2º ed., 2003, p. 12-25. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/ue000056.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2023.

SCHMIDT, D. M.; LIMA, K. C.; JESUS, E. D. S. Variabilidade Climática da Disponibilidade Hídrica na Região Semiárida do Estado do Rio Grande do Norte. **Anuario do Instituto de Geociências**, [online] v. 41, n. 3, p. 483-491, 2018. Disponível: http://10.11137/2018_3_483_491. Acesso: 07 set. 2023.

SIDIROPOULOS, P.; DALEZIOS, N. R.; LOUKAS, A.; MYLOPOULOS, N.; SPILIOPOULOS, M.; FARASLIS, I. N.; ALPANAKIS, N.; SAKELLARIOU, S. Quantitative classification of desertification severity for degraded aquifer based on

remotely sensed drought assessment. **Review of Hydrology**, v. 8, n. 47, p. 2-21, 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2306-5338/8/1/47>>. Acesso em: 13 set. 2023.

SILER, N.; ROE, G.; DURAN, D. On the dynamical causes of variability in the rain shadow effect: a case study of Washington Cascades. **Journal of Hydrometeorology**, v. 144, p. 122-138, 2013. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/14/1/jhm-d-12-045_1.xml>. Acesso em: 29 abr. 2023.

SILVA, M. M. M. A.; SILVA, M. T.; Avaliação de desempenho do modelo SWAT para a estimativa de evapotranspiração potencial para a região de Petrolândia, Estado de Pernambuco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa, PB, Brasil. **Anais** [...] 25 a 29 de abr. 2015, INPE. Disponível em: <

https://www.researchgate.net/publication/275274547_Avaliacao_de_desempenho_do_modelo_SWAT_para_estimativa_da_evapotranspiracao_potencial_para_a_regiao_de_Petrolandia_Estado_de_Pernambuco>. Acesso em: 28 out. 2023.

SILVA, M. J.; GALVÍNCIO, J. D.; COSTA, V. S. de O. Abordagem interdisciplinar sobre a influência da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT no Nordeste brasileiro. **Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais**, v. 6, n. 1, p. 107 - 117, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistamseu/article/view/230721/25642>>. Acesso em: 26 jun. 2023.

SILVA, R. O. B. da.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M de. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Eng Sanit Ambient**, v. 22 n. 3, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/m3J5NGQFR74yd6ZgFtbZ8rF/>>. Acesso em: 14 dez. 2023.

SILVA, F. D. dos S.; COSTA, R. L.; ANTONIO, M. A. V.; AFONSO, E. O.; SANTOS, D. M. dos.; MATEUS, N. P. A.; ANTONIO, J. F. Tendências observadas da evapotranspiração potencial no estado de Alagoas (1961-2016). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 1, p. 2036 - 2049, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/327897318_Tendencias_observadas_da_evapotranspiracao_potencial_no_estado_de_Alagoas_1961-2016_Observed_trends_of_potential_evapotranspiration_in_the_state_of_Alagoas_1961-2016>. Acesso em: 06 set. 2023.

SILVA, C. J.; FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M. de; HOLANDA, R. M. de. O índice de aridez e sua tendência à desertificação na bacia do rio Ipojuca – PE. **Journal of Enviromental Analysis and Progress**, v. 4, n. 1, p. 21 - 30, 2019. Disponível em: <<https://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/1875>>. Acesso em: 01 mar. 2023.

SILVA, G. K.; SILVEIRA, C. S.; SILVA, M. V. M.; MARCOS, A. D.; SOUZA FILHO, F. A. GUIMARÃES, S. O. Análise de projeções das mudanças climáticas sobre precipitação e temperaturas nas regiões hidrográficas brasileiras para o século XX. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 55, n. 3, p. 420-436, 2020.

Disponível em

<https://www.researchgate.net/publication/342318710_Analise_de_projecoes_das_mudancas_climaticas_sobre_precipitacao_e_temperatura_nas_regioes_hidrograficas_brasileiras_para_o_seculo_XXI>. Acesso em: 19 out. 2023.

SIQUEIRA, J. V. G.; ARAÚJO, Y. P.; TAVARES, D. S.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B. Balanço Hídrico Climatológico e análise da vulnerabilidade a desertificação em diferentes municípios de Pernambuco. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 1., 2016, Campina Grande, PB, Brasil. **Anais** [...] 09 de nov. a 12 de nov. 2016, CONIDIS. ISSN: 2526-186X. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/23576>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

SOARES, D. B.. **Degradação ambiental no semiárido pernambucano: contribuição ao estudo da desertificação.** 2012. 71 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10554>>. Acesso em: 10 dez. 2023.

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. Disponível em: <>. Acesso em: 13 nov. 2023.

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T.; COELHO, C. A. A.; Two episodes with reversed impacts on the regional precipitation of the northeastern South America. **Meteorologica**, n. 29, p. 5-16, 2004. Disponível em: <<https://www.scielo.org.ar/pdf/meteoro/v29n1-2/v29n1-2a01.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2023.

SOUZA, J. O. P.; ALMEIDA, J. D. M.; CORREA, A. C. B. Caracterização e espacialização em bacia hidrográfica com relevo complexo: Sertão Central pernambucano – bacia do Riacho Seco. **Revista de Geografia** (UFPE), v. 32, n. 2, p. 106-126, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229135/23535>>. Acesso em: 11 set. 2023.

SOUZA, S. O.; NOBRE, A. C. O.; LIMA, G. R. R.; ALENCAR, F. K. M.; SILVA, F. J. A. Variação temporal de índices de aridez na área de reservatório do trópico semiárido. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 10., 2019, Fortaleza, CE, Brasil. **Anais** [...] 04 a 07 nov. 2019. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2019/VIII-064.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2023.

SOUZA, A. C. N.; SOUZA, S. D. G.; SOUSA, M. L. M. Sistemas de indicadores de desertificação no Semiárido brasileiro: uma revisão sistemática integrativa da literatura. **Geografares**, v. 36, p. 2-15, 2022. Disponível em: <<https://periodicos.ufes.br/geografares/article/view/38982>>. Acesso em: 09 jul. 2023.

STERK, G.; STOOORVOGEL, J. J. Desertification – Scientific realities versus political realities. **Terra Análise – MDPI**, v. 9, n. 156, p. 2-18, 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-445X/9/5/156>>. Acesso em: 02 fev. 2023.

SUDENE. SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Delimitação do semiárido – 2021**: relatório final. Recife: SUDENE, 2021. [Versão Preliminar]. Disponível em: <<https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>> . Acesso em: 19 jun. 2023.

SUSCETIBILIDADE. *In*: **MICHAELIS**: moderno dicionário online da língua portuguesa. São Paulo: Editora Melhoramentos, 2023. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/>>. Acesso em: 26/04/2023.

TAKESHIMA, A; KIM, H; SHIOGAMA, H; LIERHAMMER, L; SCINOCCA, J. F; SELAND, O; MITCHELL, D. Global aridity changes due to differences in surface energy and water balance between 1,5°C and 2°C warming. **Environment Research Letters**, v. 15, p. 1-10 2020. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab9db3>>. Acesso em: 19 fev. 2023.

TEGOS, A.; STEFANIDIS, S.; CODY, J.; KOUTSOYIANNIS, D. On the Sensitivity of Standardized-Precipitation- Evapotranspiration and Aridity Indexes Using Alternative Potential Evapotranspiration Models. **Hydrology**, v. 10, n. 3, p. 1-14. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/369030575_On_the_Sensitivity_of_Standardized_Precipitation_Evapotranspiration_and_Aridity_Indexes_Using_Alternative_Potential_Evapotranspiration_Models>. Acesso em: 25 abr. 2023.

TERASSI, P. M. de B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; GÓIS, G.; GALVANI, E.. Variabilidade do Índice de Precipitação Padronizada na região do Estado do Paraná associada aos eventos de El Niño Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 1, p. 11-25, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/MHHrkZBG6ZTKh84K86xHLhF/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 08 jun. 2023.

TIMMERMANN, A.; AN, S. II; KUG, J. S. *et al.* El Niño-Southern Oscillation complexity. **Nature** v. 559, n. 7715, p. 535-545, 25 jul. 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30046070/><>. Acesso em: 04 jun. 2023.

THORNTHWAITE, C. W. **Atlas of Climate Types in the United States**. Miscel Publ. N° 421. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1941. Disponível em: <https://archive.org/details/atlasofclimatic421thor_0/page/n5/mode/2up>. Acesso em: 21 jan. 2023.

THORNTHWAITE, C. W; WILM, H. G. Report of the committee on evapotranspiration and transpiration 1943-1944. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v. 25, part 5, p. 686-693, 1944.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, p. 55 – 94, 1948. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/275605891_Epocas_de_florescimento_e_colheita_da_nogueira-macadamia_para_areas_cafeicolasda_regiao_sudeste/fulltext/55f5a93c08ae63926cf>

4e732/Epocas-de-florescimento-e-colheita-da-nogueira-macadamia-para-areas-cafeicolasda-regiao-sudeste.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2023.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, N. J.: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, publications in Climatology. v. 8, n. 1, New Jersey, 104 p., 1955. Disponível em: <<https://search.worldcat.org/pt/title/water-balance/oclc/637882076>>. Acesso em: 27 abr. 2023.

UNCOD. UNITED NATIONS CONFERENCE ON DESERTIFICATION. Plan of Action and Resolutions. *In: United Nations Conference on Desertification*, Nairobi, Kenya. Nairobi. Printed in New York: UM, 1977. Disponível em: <<https://www.ciesin.org/docs/002-478/002-478.html>>. Acesso em: 05 fev. 2023.

UNCCD. UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION. Part Two, Chapter 12: Drylands. *In: United Nations Convention to Combat Desertification*, 2022. Disponível em: <<https://www.unccd.int/>>. Acesso em: 05 fev. 2023.

VANINO, S.; NINO, P.; DE MICHELLE, C.; BOLOGNESI, S. F.; D'URSO, G.; DI BENE, C.; PENNELI, B.; VUOLO, F.; FARINA, R.; PULIGHE, G.; NAPOLI, R. Capability os Sentinel-3 data for estimating maximum evapotranspiration and irrigation requeriments for tomato crop in Central Italy. *Remote Sensing of Enviroment*, Amsterdã, v. 215, p. 452-470, 2018. Disponível em: <>. Acesso em:

VASCONCELOS SOBRINHO, J. de. **Desertificação no Nordeste do Brasil**. Recife. Ed. Universitária da UFPE: FADURPE, 2002. (Documento 2)

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Identificação de processos de desertificação no Polígono das Secas no Nordeste brasileiro**. Recife: Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE. 1978a 11p.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Metodologia para identificação de processos de desertificação: manual de indicadores**. Recife: Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE. 1978b 18p.

VIEGAS, J.; ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; CANDIDO, L. A.; SOUZA, R. A. F.; HALL, D. H.; SOUZA, A. C.; GARCIA, S. R.; TEMOTEO, G. G.; VALETIN, W. I. D. Caracterização dos diferentes tipos de El Niño e seus impactos na América do Sul a partir de dados observados e modelados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 1, p. 43 – 67, 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/drNXMcHG5vdX8WV9bc6Vxvcv/?lang=pt>>. Acesso em: 06 mar. 2023.

WANDERLEY, L. S. de A.; NÓBREGA, R. S.; MOREIRA, A. B.; MENEZES, R. S. C. A relação entre o relevo e o clima como proposição de caracterização da fisiologia da paisagem em Pernambuco, Brasil. **Geo UERJ**, n. 34, p. 1-24, 2019. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/geouerj/article/view/40942>>. Acesso em: 07 abr. 2023.

WEI, W.; GUO, Z.; SHI, P.; ZHOU, L.; WANG, X.; LI, Z.; PANG, S.; XIE, B. Spatiotemporal changes in land desertification sensitivity in Northwest of China 2000

to 2017, **Journal of Geographical Sciences**, v. 31, n. 1, p. 46-68, 2021. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11442-021-1832-1>>. Acesso em: 13 dez. 2023.

WHITFORD, W. G.; DUVAL, B. F. Ecology of Deserts Systems. *In*: WHITFORD, W. G.; DUVAL, B. F. **Chapter 1 – Conceptual, framework, paradigms, and models**. Cambridge, Massachusetts – EUA: Academic Press, ed. 2., 2019. p. 1-20. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/338303065_Conceptual_Framework_Paradigms_and_Models>. Acesso em: 26 jul. 2023.

YULIHASTIN, E.; SATYAWARDHANA, H.; NUGROHO, J. T.; ISHIDA, S. The contribution of the Mesoscale Convective Complexes (MCCs) to total rainfall over Indonesian Maritime Continent. **Earth and Environmental Science**, v. 54, 2017. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/54/1/012027>>. Acesso em: 07 mai. 2023.

ZHANG G.; LYU, Y.; SHI, P.; HAN, G.; LIU, L.; GUO, L.; HU, X. Desertification control practices in China. **Sustainability**, v. 12, n. 8, p. 32-58, 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/8/3258>>. Acesso em: 24 jul. 2023.

ZHANG, Y.; PEÑA-ARANCIBA, J. L.; MCVICAR, T. R.; CHIEW, F. H. S.; VAZE, J.; LIU, C.; LU, X.; ZHENG, H.; WANG, Y.; LIU, Y. Y.; MIRALLES, D. G.; PAN, M. Multi-decadal trends in global terrestrial evapotranspiration and its components. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 1-12, 2016. Disponível em: <<https://www.osti.gov/pages/biblio/1238787-multi-decadal-trends-global-terrestrial-evapotranspiration-its-components>>. Acesso em: 22 ago. 2023.