

ANÁLISES, FLUTUAÇÕES E IMPACTOS CLIMÁTICOS NO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS – PARAÍBA, BRASIL



Romildo Morant de Holanda
Raimundo Mainar de Medeiros
Salatiel Ewen Braga
Ana Karolina Peres de Melo Silva
2026

Organizadores

Romildo Morant de Holanda
Raimundo Mainar de Medeiros
Salatiel Ewen Braga
Ana Karolina Peres de Melo Silva

**ANÁLISES, FLUTUAÇÕES E IMPACTOS
CLIMÁTICOS NO POVOADO RIBEIRA DE
CABACEIRAS – PARAÍBA, BRASIL**

1ª Edição

Recife -PE
UFRPE
2026



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL
DE PERNAMBUCO - UFRPE**

Maria José de Sena

Reitora

Maria do Socorro de Lima Oliveira

Vice-reitora

Renata Valéria Regis de Sousa Gomes

Pró-Reitora de Extensão, Cultura e Cidadania

Rinaldo Aparecido Mota

Pró-Reitor de Pós-Graduação

Danielli Matias de Macedo Dantas

Pró-Reitora de Ensino de Graduação

Rodrigo Gayger Amaro

Pró-Reitor de Planejamento e Administração

Tália de Azevedo Souto Santos

Pró-Reitora de Gestão Estudantil e Inclusão

Thieres George Freire da Silva

Pró-Reitor de Pesquisa

Renata Andrade de Lima e Souza

Pró-Reitora de Gestão de Pessoas

Elisabeth da Silva Araújo

Diretora do Sistema de Bibliotecas da UFRPE

CONSELHO EDITORIAL - UFRPE

Profa. Dra. Maria do Socorro de Lima Oliveira

Presidente

Antônio Marcelo Freitas Athayde Cavalcanti

Diretor da Editora Universitária da UFRPE

Conselheiros:

Elisabeth da Silva Araújo

Profa. Dra. Amanda Brandão Araújo Moreno

Profa. Dra. Ana Vitória de Almeida Macêdo

Profa. Dra. Ana Virgínia Marinho Silveira

Dra. Énery Gislayne de Sousa Melo

Prof. Dr. Gustavo Ribeiro de Oliveira

Profa. Dra. Ivanda Maria Martins Silva

Prof. Dr. Júlio César dos Santos Nascimento

Prof. Dr. José Wilson Pinheiro Junior

Prof. Dra. Julia Maria Raposo Gonçalves de Melo Larré

Profa. Dra. Juliana Alves de Andrade

Prof. Dr. Luis Otávio Brito da Silva

Profa. Dra. Maria do Rosário de Fátima Andrade Leitão

Profa. Dra. Monica Lopes Folea Araújo

Profa. Dra. Renata Pimentel Teixeira

Profa. Dra. Soraya Giovanetti El-Deir

Profa. Dra. Suzana Ferreira Paulino Domingos

Profa. Dra. Tatiana Simões e Luna

Profa. Dra. Thais Ludmila da Silva Ranieri



EDITORA UNIVERSITÁRIA DA UFRPE

Antônio Marcelo Freitas Athayde Cavalcanti

Diretor da Editora da UFRPE

José Abmael de Araújo

Coordenador Administrativo

Josuel Pereira de Souza

Chefe de Produção

Janilson Lemos de Araújo Silva

Editoração Eletrônica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE

Bibliotecária Suelly Manzi CRB/4 809

A532 Análises, flutuações e impactos climáticos no povoado Ribeira de
Cabaceiras – Paraíba, Brasil / Romildo Morant de Holanda ... [et
a/], organizadores. – 1. ed. - Recife: EDUFRPE, 2025.
228 p. : il.

Inclui bibliografia.

1. Meteorologia agrícola 2. Balanço hídrico 3. Impactos
ambientais 4. Recursos hídricos 5. Sustentabilidade 6. Precipitação
(Meteorologia) – Variabilidade I. Holanda, Romildo Morant de, org.

CDD 630.2515

ISBN (digital) 978-65-86466-40-9

ISBN (físico) 978-65-86466-39-3

Sumário

Capítulo 1 - ÁREA DE ESTUDO	8
Capítulo 2 - APTIDÕES E ZONEAMENTO DE CULTIVARES FRUTÍFERAS PARA RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB, BRASIL	11
Capítulo 3 - ARRANJO CLIMÁTICO E APTIDÃO DE CULTURAS PARA O POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB, BRASIL	22
Capítulo 4 - POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB E SUA APTIDÃO PARA A CULTIVAR PALMA FORRAGEIRA	32
Capítulo 5 - A CULTIVAR PALMA FORRAGEIRA COMO FONTE DE ALIMENTO, FRUTICULTURA E PLANTA ORNAMENTAL NO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB, BRASIL	42
Capítulo 6 - A PALMA FORRAGEIRA E SEU USO ALIMENTAR HUMANO PARA O POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB, BRASIL	56
Capítulo 7 - APTIDÃO CLIMÁTICA DA PALMA FORRAGEIRA, UTILIZANDO-SE DOS MÉTODOS PESSIMISTAS E OTIMISTA PARA O POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB, BRASIL	62
Capítulo 8 - VARIABILIDADE TÉRMICA MÍNIMA BIANUAL E CLIMATOLÓGICA NO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB, BRASIL	75
Capítulo 9 - OSCILAÇÕES ANÔMALAS TÉRMICAS MÍNIMAS NO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB, BRASIL	87
Capítulo 10 - POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS E SUAS FLUTUAÇÕES QUINQUENAL DA TEMPERATURA MÁXIMA, COMPARADA À TEMPERATURA MÁXIMA CLIMATOLÓGICA	104
Capítulo 11 - IMPACTOS QUINQUENAIS CLIMÁTICOS NAS INFORMAÇÕES TÉRMICAS E PLUVIAIS DO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB, BRASIL	115
Capítulo 12 - INFLUÊNCIA DOS FENÔMENOS DE LARGA ESCALA EL NIÑO E LA NIÑA NOS ÍNDICES PLUVIAIS DO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB, BRASIL	127
Capítulo 13 - APLICABILIDADE DO BALANÇO HÍDRICO NO ALGODÃO ATUAL E FUTURA NO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB, BRASIL	155
Capítulo 14 - COMPARATIVO DO BALANÇO HÍDRICO ENTRE O POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS, PARAÍBA E CARUARU, PERNAMBUCO	169
Capítulo 15 - VARIABILIDADE TÉRMICA NAS ESTAÇÕES DO ANO E SUAS MÉDIAS MÓVEIS, NO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB, BRASIL	180

Capítulo 16 - POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS E SUAS FLUTUAÇÕES ANÔMALAS E DE TENDÊNCIAS TÉRMICAS MÁXIMAS NAS ESTAÇÕES DO ANO 190

Capítulo 17 - POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS E SUAS ANÁLISES ESTATÍSTICA NA VARIÁVEL TEMPERATURA MÉDIA 200

Capítulo 18 - ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA PLUVIOMÉTRICA NO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB, BRASIL 208

Capítulo 19 - VARIABILIDADE INTER MENSAL E ANUAL DO EVAPOPLUVIOGRAMA NO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB, BRASIL 217

INFORMAÇÕES DOS AUTORES 228

AGRADECIMENTOS

Os organizadores, que contribuíram voluntariamente para esta obra, expressam seus sinceros agradecimentos aos amigos e colaboradores que ofereceram sugestões e críticas construtivas. Agradecem, em especial, à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pelo apoio na edição e publicação deste livro.

APRESENTAÇÃO

O Semiárido brasileiro, com suas singularidades climáticas e hidrológicas, sempre se destacou como um território de desafios e resiliência. Entre secas prolongadas, chuvas irregulares e oscilações térmicas significativas, a região exige constante adaptação de suas comunidades e atividades econômicas. No Povoado Ribeira de Cabaceiras, localizado no agreste paraibano, essas características se manifestam de forma intensa, influenciando diretamente a agricultura, a pecuária, a disponibilidade de água e a qualidade de vida de seus habitantes.

Este livro é fruto de um trabalho minucioso que busca compreender, de forma integrada, as flutuações climáticas e hidrológicas dessa localidade no período de 2010 a 2023. A análise parte de bases metodológicas sólidas, combinando o uso do balanço hídrico climatológico e do evapopluviograma com a classificação climática intermensal. Assim, torna-se possível identificar não apenas a predominância do clima mesotérmico na região, mas também as variações sazonais e anuais que se traduzem em eventos áridos, secos, subúmidos, úmidos e, raramente, superúmidos.

Ao longo dos capítulos, o leitor encontrará discussões detalhadas sobre a importância da cobertura vegetal, os impactos da exploração inadequada do solo e as implicações ambientais e socioeconômicas das alterações climáticas. O estudo evidencia que as variações observadas não decorrem apenas de fenômenos naturais, mas também de pressões antrópicas, que modificam a dinâmica térmica e hidrológica, potencializando problemas como erosão, perda de matéria orgânica e redução da disponibilidade hídrica. Os resultados apresentados vão além da mera descrição dos tipos climáticos. Eles oferecem um panorama abrangente sobre a realidade ambiental do Povoado Ribeira de Cabaceiras, inserindo-o no contexto mais amplo das mudanças climáticas globais e dos eventos extremos de precipitação que vêm sendo registrados em todo o Nordeste brasileiro. Ao relacionar dados locais com estudos de referência, a obra contribui para a construção de um conhecimento técnico-científico que pode servir de subsídio para políticas públicas, estratégias de manejo sustentável e ações comunitárias voltadas à mitigação e adaptação.

Este trabalho se destaca por unir rigor metodológico, profundidade analítica e relevância social. Mais do que um levantamento climatológico, trata-se de um registro histórico e científico que valoriza o saber técnico, mas não perde de vista a realidade vivida pelas populações do Semiárido. Ao final, o leitor compreenderá que as oscilações climáticas aqui analisadas não são apenas números em tabelas ou gráficos, mas fenômenos que afetam diretamente a produção de alimentos, a segurança hídrica e a sustentabilidade ambiental da região.

Com este livro, abre-se um convite à reflexão e ao engajamento. Entender a dinâmica climática e hidrológica de uma localidade como Ribeira de Cabaceiras é também compreender os desafios e as possibilidades de convivência harmoniosa com o Semiárido um território de contrastes, mas também de grandes potencialidades.

Capítulo 1 - ÁREA DE ESTUDO

Raimundo Mainar de Medeiros

O povoado de Ribeira de Cabaceiras, no estado da Paraíba, está inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, na região do Alto Paraíba. Seus principais cursos d'água são os rios Taperoá, Paraíba e Boa Vista, além dos riachos do Pombo, Gangorra, Pocinho, Varjota, Tanque, Fundo, Algoduais, Junco e Macambira. Destaca-se ainda a presença do Açude Público Eptácio Pessoa, popularmente conhecido como Açude de Boqueirão (AESA, 2023).

O povoado Ribeira de Cabaceiras localiza-se na Microrregião do Cariri Oriental e na Mesorregião da Borborema, limitando-se com os municípios de São João do Cariri, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel, Boqueirão e Boa Vista. A área de estudo encontra-se nas coordenadas geográficas 7°43'S e 36°36'W de *Greenwich*, a uma altitude de 391 metros, situando-se na porção mais baixa do Planalto da Borborema (AES, 2023).

Figura 1. Visualização e posicionamento do Povoado Ribeira de Cabaceiras na Paraíba e América do Sul.



Fonte: O autor.

A vegetação nativa tem perdido espaço para a algaroba (*Prosopis juliflora*), espécie exótica invasora que atualmente predomina na área estudada. Além disso, o solo tem apresentado alterações em razão dos impactos ambientais decorrentes da urbanização e da arborização desordenada.

O clima e suas variações temporais exercem grande influência sobre a sociedade e o meio natural, com efeitos que podem ser positivos ou negativos. Considerando que o ser humano é vulnerável às variações climáticas, suas atividades na região concentram-se, essencialmente, na agropecuária e no armazenamento e distribuição de água para a subsistência.

Para esta pesquisa, utilizaram-se dados mensais de precipitação (mm), referentes ao período de 2010 a 2023, interpolados pelo método da Média Ponderada pelo Inverso da Distância ao Quadrado, com base nos municípios circunvizinhos. Foi calculada a anomalia pluvial e sua tendência. Os dados de temperatura (°C) para o mesmo período foram gerados por meio do software Estima-T. O cálculo do balanço hídrico foi realizado considerando uma capacidade de campo de 100 mm, utilizando-se o método desenvolvido por Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955), com o auxílio de planilhas eletrônicas elaboradas por Medeiros et al. (2018).

Os principais elementos responsáveis pelas chuvas na área de estudo incluem a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a influência dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), a formação e intensificação de linhas de instabilidade e de aglomerados convectivos, bem como a ação dos ventos alísios de nordeste, a convergência de umidade e as trocas de calor. Os efeitos locais, como a cobertura de nuvens e a umidade relativa do ar, também contribuem para a ocorrência de chuvas fracas a moderadas em diversos meses do ano (Medeiros e Holanda, 2024).

De acordo com a classificação climática de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1953), o clima local é do tipo C1A'S1a' (seco subúmido, megatérmico, com 2,9% da evapotranspiração potencial e acentuado excesso hídrico no inverno). Já segundo a classificação de Köppen e Geiger (1928) e Köppen (1931), o clima é do tipo BSh, quente de estepa, com temperaturas elevadas e chuvas esparsas concentradas no inverno, com média anual em torno de 22 °C. O estudo de Alvares et al. (2014) corrobora essa classificação para a área em questão.

O clima da região caracteriza-se por forte sazonalidade, com dois períodos bem definidos: de março a agosto, ocorre cerca de 82% da precipitação anual; já de setembro a fevereiro, registram-se apenas 18% das chuvas. Essa distribuição está associada à baixa ocorrência de precipitações, reduzida umidade relativa do ar, menor cobertura de nuvens e elevados índices de evaporação e evapotranspiração.

A Organização Meteorológica Mundial (OMM, 1989) recomenda que, para estudos comparativos de clima, sejam utilizadas séries históricas com pelo menos 30 anos de observações, a fim de garantir consistência e homogeneidade na análise dos dados. No entanto, para períodos mais curtos, como dez anos, é possível utilizar uma "normal provisória" para avaliar o comportamento climático, desde que se trabalhe com séries de anos consecutivos.

Os dados térmicos utilizados nesta pesquisa foram gerados pelo programa Estim-T, correspondentes ao período de 2010 a 2023 (Cavalcanti et al., 2006; Cavalcanti e Silva, 1994). Já os dados pluviométricos foram obtidos a partir da interpolação dos municípios vizinhos, após passarem por processos de consistência e homogeneização (AESA, 2023).

REFERÊNCIAS

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2023.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Viena -AT, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- CAVALCANTI, E. P.; SILVA, E. D. V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8, 1994. Belo Horizonte, *Anais...Belo Horizonte: SBMET*, 1, p.154-157. 1994.
- 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*, 10. p.140-147. 2006.
- KÖPPEN, W. Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science. **Berlin: Walter de Gruyter**. P.388. 1931.
- KÖPPEN, W, GEIGER, R. *Klimate der Erde*. **Gotha: Verlag Justus Perthes**. Wall-map 150 x 200cm. 1928.
- MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M. Classificação climática e balanço hídrico pelo método de Köppen e Thornthwaite do município de Barbalha, Ceará, Brasil. *Revista Equador*. 8, 19 - 43. 2024

MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; VIANA, M. A.; SILVA, V. P. Climate classification in Köppen model for the state of Pernambuco – Brazil. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 35, n. 3, 2018

OMM. Organização Meteorológica Mundial. **Calculation of monthly and annual 30 - year standard normals**. Geneva (WMO). Technical document, v.341; WCDP, n.10, 1989.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, Jan. 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. **Centerton: Drexel Institute of Technology**, 311p. (Drexel Institute of Technology. Publications in Climatology; v. 10, n. 3). 1953.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The Water Balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 104p. (Publications in Climatology, v.8, n.1), 1955.

Capítulo 2 - APTIDÕES E ZONEAMENTO DE CULTIVARES FRUTÍFERAS PARA RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRASIL

Salatiel Ewen Braga
Raimundo Mainar de Medeiros
Romildo Morant de Holanda
Ana Karolina Peres de Melo Silva
Liliane Guimarães Rocha

RESUMO

O semiárido do Nordeste brasileiro apresenta condições ambientais que, embora desafiadoras, são potencialmente favoráveis à implantação de cultivos frutíferos de elevado valor comercial. Tais cultivos têm capacidade de atender tanto ao mercado interno quanto ao externo, contribuindo significativamente para as economias local, regional e nacional. Este estudo teve como objetivo realizar o zoneamento agroclimático e identificar a aptidão de cultivares frutíferas no Povoado Ribeira, localizado no município de Cabaceiras, Paraíba. Foram avaliadas as culturas de banana, abacaxi, caju, uva e manga, considerando indicadores climáticos compatíveis com as exigências agroclimáticas dessas espécies. Para a análise, utilizaram-se dados pluviométricos mensais (mm) do período de 2010 a 2023, interpolados pelo método da Média Ponderada pelo Inverso da Distância ao Quadrado, com base em informações de municípios vizinhos. As temperaturas médias (°C) foram estimadas por meio do software Estima-T. A caracterização climática da área indica predomínio de clima mesotérmico, sem ocorrência de excedente hídrico no solo, sendo que 29,7% da evapotranspiração potencial concentra-se entre os meses de dezembro e fevereiro, considerados os mais quentes do ano. Os resultados revelam que as condições climáticas locais são limitantes para o cultivo da banana e do abacaxi, devido à elevada deficiência hídrica. As culturas de caju e manga também apresentam restrições e demandam irrigação complementar, podendo ser exploradas em pequena escala, como em sistemas de quintais produtivos. O cultivo da uva, embora igualmente afetado pela escassez de água, apresenta potencial para ser testado experimentalmente, especialmente nas proximidades do Rio Paraíba. Conclui-se que, mediante o uso eficiente de tecnologias de irrigação, é possível viabilizar o cultivo experimental dessas frutíferas na região estudada.

Palavras-Chave: Agroclimatologia, Deficiência hídrica, Irrigação complementar, Semiárido, Sustentabilidade agrícola.

SUITABILITY AND ZONING OF FRUIT CROP CULTIVARS FOR RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRAZIL

ABSTRACT

The semi-arid region of Northeastern Brazil presents environmental conditions that, although challenging, are potentially favorable for the establishment of high-value commercial fruit crops. These crops can meet both domestic and international market demands, contributing significantly to local, regional, and national economies. This study aimed to perform agroclimatic zoning and assess the suitability of fruit crop cultivars in the village of Ribeira, located in the municipality of Cabaceiras, Paraíba. The evaluated crops included banana, pineapple, cashew, grape, and mango, considering climatic

indicators compatible with their agroclimatic requirements. Monthly rainfall data (mm) from 2010 to 2023 were used, interpolated using the Inverse Distance Weighted (IDW) method based on information from neighboring municipalities. Average temperatures (°C) were estimated using the Estima-T software. The climate characterization of the area indicates a predominance of mesothermal climate, with no water surplus in the soil. About 29.7% of potential evapotranspiration occurs between December and February, the hottest months of the year. Results show that local climatic conditions are limiting for banana and pineapple cultivation due to high water deficiency. Cashew and mango crops also face restrictions and require supplemental irrigation, making them suitable for small-scale exploitation, such as in productive backyard systems. Grape cultivation, although also affected by water scarcity, shows potential for experimental testing, particularly near the Paraíba River. It is concluded that, through the efficient use of irrigation technologies, the experimental cultivation of these fruit crops in the studied region is feasible.

Keywords: Agroclimatology, Water déficit, Supplemental irrigation, Semi-arid region, Agricultural Sustainability.

INTRODUÇÃO

O Nordeste do Brasil (NEB) apresenta condições climáticas diversas, como variações de temperatura, umidade relativa, índices pluviométricos, radiação solar e ventos, que podem ser favoráveis ao cultivo de frutíferas. Essas variáveis exercem influência direta na qualidade dos frutos, especialmente na coloração e no sabor, atributos valorizados tanto pelo mercado interno quanto pelo mercado de exportação (Silva et al., 2010).

A fruticultura no Brasil, em especial no NEB, está sujeita a variações na produção em função das flutuações meteorológicas, sendo a disponibilidade hídrica um dos principais fatores limitantes. Essa variabilidade afeta diretamente o rendimento das culturas, assim como a aparência e o sabor dos frutos (Matzenauer et al., 1995). Entre as frutas mais exportadas pelo Brasil destacam-se a manga, o melão e a uva, que ocupam os primeiros lugares no ranking nacional. A maior parte dessa produção é oriunda do NEB, notadamente da região do Submédio do Vale do São Francisco, onde o clima é propício ao desenvolvimento de frutas de alta qualidade, especialmente com o uso de irrigação suplementar (Kist et al., 2018).

A banana (*Musa spp.*) é uma planta típica de clima tropical, que exige boa disponibilidade hídrica no solo e temperaturas elevadas, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano. A faixa ideal de temperatura para seu desenvolvimento determina a viabilidade do cultivo em determinadas regiões. Embora seja cultivada em diversos estados brasileiros, desde áreas litorâneas até planaltos do interior, o regime de chuvas e a temperatura podem representar restrições importantes à cultura (Borges et al., 2006).

A viticultura no semiárido nordestino tem se expandido nos últimos anos. A videira (*Vitis vinifera*), originalmente da Europa, foi introduzida no Brasil com cultivares provenientes dos Estados Unidos e da Itália, possibilitando a produção de uvas finas e de mesa. O avanço tecnológico tem permitido a adaptação de diversas variedades, com ou sem sementes, para cultivo na região (Araújo, 2011).

O abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill) é uma planta tropical, monocotiledônea, herbácea e perene da família Bromeliaceae. Possui caule curto e grosso, com folhas estreitas, longas, resistentes e geralmente espinhosas (Ricce et al., 2014).

O caju (*Anacardium occidentale* L.) é uma planta tropical nativa do Brasil, cultivada em diversas regiões do país, com maior concentração no Nordeste. Trata-se de um produto importante para a economia regional e local, com destaque no mercado de exportação (Severino, 2008). Segundo Pereira et al. (2007), apesar da ampla difusão do cultivo, ainda são escassos os estudos de zoneamento agroclimático em algumas áreas produtoras.

Medeiros et al. (2016) avaliaram a aptidão climática da palma forrageira e o potencial produtivo do caju com base em indicadores climáticos. No entanto, identificaram limitações significativas na Região Metropolitana do Recife, devido à baixa disponibilidade de temperatura e umidade adequadas, o que compromete a adaptação e o rendimento das culturas. O uso isolado da deficiência hídrica como critério para zoneamento revelou-se insuficiente para classificar adequadamente a aptidão do caju naquela região.

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo realizar o zoneamento agroclimático e identificar a aptidão de cultivares frutíferas: banana, abacaxi, caju, uva e manga, no Povoado Ribeira, no município de Cabaceiras, com base em indicadores climáticos estabelecidos de acordo com as exigências específicas de cada cultura.

METODOLOGIA

Os dados mensais de precipitação (mm), referentes ao período de 2010 a 2023, foram obtidos por interpolação espacial utilizando o método da Média Ponderada pelo Inverso da Distância ao Quadrado (IDW), considerando os municípios circunvizinhos ao Povoado Ribeira de Cabaceiras.

As temperaturas médias do ar foram estimadas com o auxílio do software Estima_T, que utiliza um modelo empírico baseado em uma superfície quadrática em função das coordenadas geográficas (longitude, latitude e altitude), conforme proposto por Cavalcanti et al. (2006), e descrito pela Equação 1:

$$T = C_0 + C_1\lambda + C_2\varnothing + C_3h + C_4\lambda_2 + C_5\varnothing_2 + C_6h_2 + C_7\lambda\varnothing + C_8\lambda h + C_9\varnothing h \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

$C_0, C_1, \dots, C_9$: constantes;

$\lambda, \lambda_2, \lambda\varnothing, \lambda h$: longitude;

$\varnothing, \varnothing_2, \lambda\varnothing$: latitude;

$h, h_2, \lambda h, \varnothing h$: altitude.

A partir dos dados gerados pelo Estima_T, elaborou-se uma planilha eletrônica para o cálculo das médias mensais e anuais da temperatura estimada para o local.

O balanço hídrico (BH) e os índices climáticos: aridez (I_a), umidade (I_u) e hídrico (I_h), foram determinados conforme a metodologia de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955), por meio das Equações 2 a 4:

$$I_a = 100 \frac{\sum DEF}{\sum ETP} \quad \text{Eq. (2)}$$

$$I_u = 100 \frac{\sum EXC}{\sum ETP} \quad \text{Eq. (3)}$$

$$I_h = I_u - 0,6 \times I_a \quad \text{Eq. (4)}$$

Em que:

I_a : índice de aridez em porcentagem;

I_u : índice de umidade em porcentagem;

I_h : índice hídrico em porcentagem;

DEF: deficiência hídrica;

EXC: excesso hídrico; e

ETP: evapotranspiração potencial.

A evapotranspiração potencial anual foi calculada pela Equação 5, utilizando a metodologia de Thornthwaite (1948):

$$ETP = F_c \times 16 \times \left(\frac{10 \times T}{I} \right)^a \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde:

ETP: evapotranspiração potencial anual em mm ano⁻¹;

F_c : Fator de correção, Tabela 1;

T: Temperatura °C;

I: Índice anual de calor, correspondente a soma dos doze índices mensais; e

a: Função cúbica anual de calor dada por:

$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 0,01791 I + 0,492$.

Tabela 1. Fator de correção (F_c) em função dos dados mensais.

Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Fator	1,80	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10

Fonte: Adaptado de Thornthwaite, (1948).

Para as classes climáticas aplicou-se a metodologia de Thornthwaite (1948) onde valeu-se dos índices de aridez (I_a), umidade (I_u), hídrico (I_h) e (C_v), segundo a concentração da ETP na estação quente, definida pelos três meses corridos de temperatura mais elevada do ano. A centralização da ETP na estação quente (C_v) representa a porcentagem da evapotranspiração anual que ocorre nos meses a, b, c, da temperatura do trimestre mais quente do ano, conforme a Equação 6.

$$C_v = 100 \times \left(\frac{ETP_a \times ETP_b \times ETP_c}{ETP} \right) \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde:

C_v : Concentração da evapotranspiração na estação mais quente do ano em %;

ETP a, b, c: evapotranspiração potencial nos meses a, b, c em mm mês⁻¹; e

ETP: evapotranspiração potencial anual em mm ano⁻¹.

O evapopluviograma, foi adaptado pelo balanço hídrico das classes climáticas apropriadas às culturas, por meio das normas das coordenadas ortogonais. Os dados da ETP foram plotados em função das variações pluviiais, obtendo desta forma o evapopluviograma, (Matos et al., 2014). O diagrama divide-se em seis setores hídricos, onde a pluviometria satisfaz a diferentes e suas variações da ETP, para as quatro faixas de temperatura os dados apropriados delimitam às limitações e exigências da cultivar. Usando-se os dados do evapopluviograma delimitou-se os identificadores de vegetação

(I_v), repouso por seca (I_{rs}) repouso por frio (I_{rf}) e hídrico (I_h). Para os índices climáticos usou-se os aplicados da Tabela 2, onde se determinar a aptidão climática e sua classificação: aptidão plena, moderada, restrita e inapta.

Tabela 2. Representação do resumo utilizado para definir as aptidões climática das cultivares, banana, abacaxi caju, uva e manga, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Cultura	Aptidão	Critério Climático	Faixas	Observações
Banana	Plena	Índice Climático	$Def < 200 \text{ mm}$	Boas condições hídricas para o desenvolvimento da cultura.
	Moderada		$200 \text{ mm} < Def < 350 \text{ mm}$	Insuficiência hídrica estacional, prolongando o ciclo.
	Restrita		$350 \text{ mm} < Def < 700 \text{ mm}$	Deficiência hídrica acentuada; cultivo apenas em várzeas e locais mais úmidos.
	Inaptidão		$Def > 700 \text{ mm}$	Deficiência hídrica muito severa. Cultivo somente com irrigação.
Abacaxi	Plena	Índice Hídrico (I_h)	$-20 \leq I_h < 20$	Boas condições hídricas e térmicas para o desenvolvimento da cultura.
	Moderada		$I_h > 20$	Umidade excessiva, prejudicando o desenvolvimento vegetativo e a frutificação.
	Restrita		$-30 \leq I_h < -20$	Restrições hídricas para o desenvolvimento da cultura.
	Inaptidão		$-40 \leq I_h < -30$ $I_h < -40$	Limitações severas por deficiência hídrica. Cultivo inviável sem irrigação.
Caju	Plena (P)	Índice Hídrico e Deficiência Hídrica	$I_h > -10$ e $Def < 100 \text{ mm}$	Em geral, não há limitações climáticas; cultivo favorável em climas quentes.
	Moderada (M)		$I_h < -10$ e $100 \text{ mm} < Def < 200 \text{ mm}$	Ocorrência normal de pequena deficiência hídrica.
	Restrita (R)		$200 \text{ mm} < Def < 700 \text{ mm}$	Cultivo parcial prejudicado por deficiência hídrica.
	Restrita (R)		$700 \text{ mm} < Def < 900 \text{ mm}$	Deficiência hídrica severa na maioria dos solos.
	Inaptidão (I)		$Def > 900 \text{ mm}$	Cultivo somente com suprimento d'água por irrigação. Suprimento hídrico insuficiente.

Legenda: I_h - Índice hídrico, - Temperatura anual, DEF - Deficiência hídrica.

Fonte: Adaptado de Ometto (1981).

Tabela 3. Fatores e indicadores climáticos para a cultura do cajueiro

Parâmetro	Ideal	Tolerável	Não Indicada
Faixa térmica (°C)	19 – 34	34 – 40	< 15
Precipitação (mm/ano)	800 – 1500	600 – 800	< 500
Umidade relativa do ar (%)	65 – 85	40 – 65 ou > 90	< 40

Fonte: Adaptado de Aguiar et al. (2000).

Tabela 4. Descrição das classes de aptidão climática para o zoneamento da videira europeia em Serra Branca (PB).

Classe de Aptidão	Valores Limites	Descrição
Plena – Subclasse I	$20 < Iu \leq 60$	Indicando elevada deficiência hídrica no solo, por baixa precipitação, elevada evapotranspiração potencial (ETP), sem limitações de temperatura do ar para a cultura.
Plena – Subclasse II	$Iu \leq -20$ e $Tq \geq 28$ °C	Indicando elevada deficiência hídrica no solo, por baixa precipitação, elevada evapotranspiração potencial (ETP), com limitações de temperatura do ar para a cultura.
Restrita	$Iu \leq -20$ e $Tq < 28$ °C	Indicando haver moderado a elevado excedente hídrico no solo. Os valores moderados de precipitação e umidade relativa do ar proporcionam ocorrência regular de problemas fitossanitários.
Inaptidão	$Iu \leq 60$	Indicando elevado excedente hídrico, com altas temperaturas, favorecendo problemas fitossanitários graves.
Inaptidão	$Iu \leq 60$	Indicando elevado excedente hídrico, com temperaturas mais amenas, ainda assim com alta ocorrência de problemas fitossanitários.
Inaptidão	$Iu \leq 60$	Indicando elevado excedente hídrico no solo. Altos valores de precipitação e umidade relativa proporcionam a ocorrência máxima de problemas fitossanitários.

Fonte: Adaptado de Teixeira et al. (2002); Andrade Junior et al. (2009).

Tabela 5. Classes de potencial agroclimático segundo as exigências climáticas para o cultivo da mangueira em Serra Branca (PB).

Índice de Umidade (Iu)	Temperatura Média do Mês Mais Quente (Tmed)	Aptidão
$Iu < -40$	$Tmed < 29$ °C	Plena A1
	29 °C < $Tmed < 31$ °C	Plena A2
$-40 < Iu < -20$	$Tmed < 29$ °C	Plena B1
	29 °C < $Tmed < 31$ °C	Plena B2

Fonte: Adaptado de Teixeira e Azevedo (1996); Portela et al. (2008).

RESULTADO E DISCUSSÃO

O Nordeste Brasileiro (NEB) apresenta alta variabilidade nos elementos meteorológicos que atuam na região. Entre os principais fatores que determinam a variação sazonal da distribuição pluviométrica estão a posição geográfica, orografia,

sistemas de escala sinótica, variações da pressão superficial e da temperatura da superfície do mar (Oliveira et al., 2017; Santos et al., 2023).

Os dados do balanço hídrico (BH), considerando uma capacidade de campo de 100 mm no período de 2010 a 2023, indicaram temperatura média anual de 25,6 °C, com variações mensais entre 23,4 °C (julho) e 27,0 °C (dezembro). A pluviosidade mensal oscilou de 4,9 mm (setembro) a 59,7 mm (março), totalizando 382,9 mm ao ano. Conforme Lima et al. (2024), essas oscilações decorrem de sistemas causadores de chuvas irregulares e mal distribuídas, como bloqueios atmosféricos, movimentos verticais (ascendentes e descendentes), transporte de vapor e umidade, incidência solar e cobertura de nuvens.

A evapotranspiração potencial (ETP) superou os índices pluviométricos em 84,87%, com valores mensais variando entre 88,6 mm (julho) e 154,9 mm (dezembro). A evaporação anual correspondeu ao volume de precipitação registrado. As variações mensais da evaporação coincidiram com os índices pluviométricos, oscilando entre 4,9 mm e 59,7 mm, corroborando o estudo de Medeiros (2018).

A deficiência hídrica anual foi de 1.090,8 mm, com valores mensais entre 42,3 mm (janeiro) e 134,6 mm (dezembro), e não foram registrados excedentes hídricos ao longo do período analisado, o que também foi observado por França e Medeiros (2020).

Tabela 6. Elementos do balanço hídrico entre 2010 - 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,8	32,7	146,0	32,7	113,3	0,0
Fevereiro	26,6	23,2	131,4	23,2	108,2	0,0
Março	26,3	59,7	139,1	59,7	79,4	0,0
Abril	25,9	58,7	124,7	58,7	66,0	0,0
Maiο	25,0	59,5	112,8	59,5	53,2	0,0
Junho	24,1	51,7	94,0	51,7	42,3	0,0
Julho	23,4	36,8	88,6	36,8	51,8	0,0
Agosto	23,9	19,3	95,2	19,3	75,9	0,0
Setembro	25,0	4,9	109,6	4,9	104,6	0,0
Outubro	26,1	8,6	133,5	8,6	124,9	0,0
Novembro	26,8	7,4	143,9	7,4	136,5	0,0
Dezembro	27,0	20,3	154,9	20,3	134,6	0,0
Média/Total	25,6	382,9	1473,7	382,9	1090,8	0,0

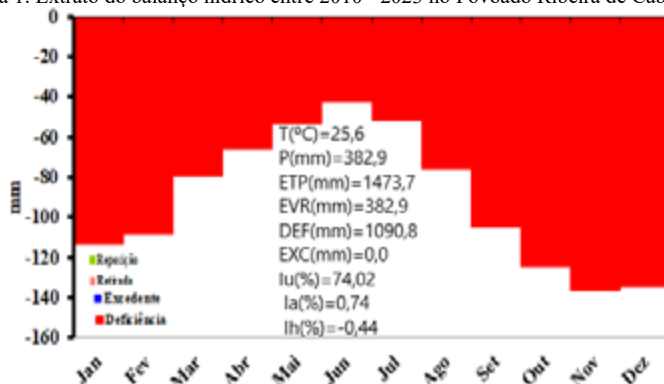
Fonte: O autor.

O extrato do balanço hídrico (Figura 1) evidencia deficiências hídricas moderadas a severas ao longo de todos os meses do ano, confirmando os resultados obtidos por França e Medeiros (2020) e Medeiros et al. (2022). Para facilitar a interpretação, os valores anuais foram inseridos no gráfico do extrato.

O clima local é resultado da interação entre fatores abióticos (orografia, precipitação, temperatura, solo, umidade relativa, latitude, continentalidade/maritimidade e correntes marítimas) e bióticos, como a vegetação (Braga et al., 2019). Compreender como cada um desses fatores atua ou se correlaciona é essencial para entender as características ambientais, sejam elas naturais ou antrópicas. A temperatura, por exemplo, exerce influência direta sobre a fisiologia da flora e fauna (Oliveira, 2023), sendo uma

variável fundamental para o planejamento agrícola e ambiental, como apontam França e Medeiros (2020).

Figura 1. Extrato do balanço hídrico entre 2010 - 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

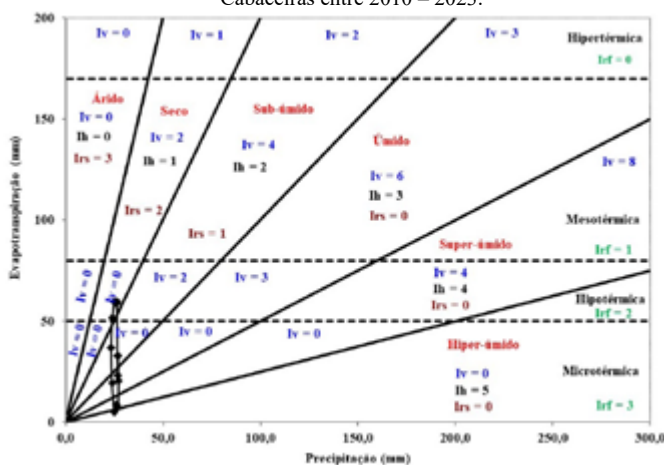


Fonte: O Autor.

A região semiárida do Nordeste caracteriza-se por chuvas escassas, irregulares, com secas recorrentes e eventos intensos de curta duração, o que contribui para a escassez de escoamento superficial e está relacionado aos padrões de variabilidade pluviométrica e aos sistemas meteorológicos em diferentes escalas (Medeiros, 2018).

A Figura 2 apresenta o evapopluviograma do Povoado Ribeira de Cabaceiras, evidenciando a distribuição dos domínios térmicos e hídricos. Foram identificados quatro tipos climáticos: seco, subúmido, úmido e superúmido, com predominância dos climas subúmido e úmido.

Figura 2. Distribuição das repartições hídricas e térmicas do evapopluviograma do Povoado Ribeira de Cabaceiras entre 2010 – 2023.



Fonte: O Autor.

Os índices climáticos obtidos por meio do evapopluviograma (Tabela 7) corroboram os resultados encontrados em estudos anteriores realizados para o Nordeste (Medeiros et al., 2013; Matos et al., 2014).

Tabela 7. Índices climáticos do Povoado Ribeira de Cabaceiras entre 2010 – 2023.

Índices Climáticos	Iv (%)	Irs (%)	Irf (%)	Cv	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
	16	16	16	444,8	25,6	382,9	1473,7	1090,8	0,0

Fonte: O Autor.

A aptidão de uma região para cultivos está diretamente relacionada ao regime pluviométrico, às temperaturas médias e à altitude (Toledo et al., 2009). Esses fatores são cruciais, sobretudo no contexto da agricultura familiar, por influenciarem diretamente a produtividade agrícola e a viabilidade das culturas.

CONCLUSÃO

O clima predominante no Povoado Ribeira de Cabaceiras é do tipo Mesotérmico, sem ocorrência de excedentes hídricos no solo, com cerca de 29,7% da evapotranspiração potencial concentrada entre dezembro e fevereiro, período considerado o trimestre mais quente.

Os resultados indicam que as condições agroclimáticas da região são restritivas para o cultivo de banana e abacaxi, devido à elevada deficiência hídrica. Para o caju e a manga, o cultivo também é limitado pela escassez hídrica; contudo, em sistemas de fundo de quintal, é possível realizar o plantio em pequena escala com desenvolvimento dentro da normalidade. Com irrigação, o cultivo dessas espécies pode ser viável, desde que em caráter experimental.

O cultivo da uva também é restrito, mas, considerando a passagem do Rio Paraíba próximo à localidade, o plantio pode ser testado de forma experimental, desde que com suporte de irrigação.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. J. N.; SOUSA NETO, N. C.; BRAGA, C. C.; BRITO, J. I. B.; SILVA, E. D. V.; SILVA, F. B. R.; BURGOS, N.; VAREJÃO-SILVA, M. A.; COSTA, C. A. R. **Zoneamento pedoclimático para a cultura do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) no Nordeste do Brasil e Norte de Minas Gerais**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical/ Recife: Embrapa-CNPSEP-NE, 30p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de Pesquisa, 27). 2000.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; SILVA, C. O. Zoneamento de aptidão climática para a videira europeia no Estado do Piauí. In: **XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 2009, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: SBA, p. CD-ROM. 2009.
- ARAÚJO, A. A. R. **Moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) e seus parasitoides em frutíferas nativas no estado do Piauí**, Brasil. 88 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Teresina. 2011.
- BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G.; RITZINGER, C. H. S. P.; ALMEIDA, C. O.; COELHO, E. F.; SANTOS-SEREJO, J. A.; SOUZA, L. S.; LIMA, M. B.; FANCELLI, M.; FOLEGATTI, M. I. S.; FILHO, P. E. M.; SILVA, S.; MEDINA, V. M.; CORDEIRO, Z. J. M. A cultura da banana/Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 3. ed. rev. e amp. – Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, (Coleção Plantar, 56). 2006.
- BRAGA, S. E.; FRANÇA, M. V. de; ROLIM NETO, F. C.; MEDEIROS, R. M. VARIABILIDADE DECADAL DA PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA MÍNIMA DO AR EM SÃO BENTO DO UNA - PE, BRASIL. In: Giovanni Seabra. (Org.). **Terra - Mudanças Climáticas e Biodiversidade**. 1ed. Ituiutaba-MG: Barlavento, 2019, v. p. 725-739.
- 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**, 10 (1), p. 140-147. 2006.
- HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática do sorgo como suporte alimentar a avicultura de São Bento Una-Pernambuco, Brasil. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 4, p. 275-283, 2020.

KIST, B. B.; CARVALHO, C.; TREICHEL, M.; SANTOS, C. E. **Anuário Brasileiro da Fruticultura** 2018. Santa Cruz do Sul: Gazeta, p. 88, 2018.

LIMA, M. G. M.; MEDEIROS, R. M.; SABOYA, L. M.F. Oscilações quinquenal do balanço hídrico no povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**. 2024.

MATOS, R. M.; SILVA, J. A. S.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática para a cultura do feijão caupi do município de Barbalha - CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n.6, p.422-431, 2014.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; RIBOLDI, J. Relação entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, p.85-92, 1995.

MEDEIROS, R. M. **Estudo agrometeorológico para o Estado da Paraíba**. Distribuição avulsa, p.165. 2018.

MEDEIROS, R. M.; AZEVEDO, P. V.; SABOYA, L. M. F. Classificação climática e zoneamento agroclimático para o município de Amarante-PI. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, n.2, p.170-180, 2013.

MEDEIROS, R. M.; FRANÇA, M. V.; SABOYA, L. M. F.; HOLANDA, R. M.; WAGNER, R. B.; BRAGA, S. E. Balanço hídrico e seus comparativos com 1996-2005, 2006-2015 em relação a 2015 no município de São Bento do Una - PE. **E-Acadêmica**, 3, e7532226. 2022.

MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; FERREIRA, G. L. **Palma forrageira e caju, suas aptidões e zoneamento agroclimático para o município de Recife**. I Congresso Internacional das Ciências Agrárias – COINTER – PDVAGRO2016. 2016.

OLIVEIRA, L. D. **As contribuições da climatologia para prevenção e combate a incêndios florestais no Parque Estadual Serra do Rola Moça**. 2023. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais. 232p. 2023.

OLIVEIRA, P. T.; SANTOS e SILVA, C. M.; LIMA, K. C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, 130, 77–90. 2017.

OMETTO, J. C. Bioclimatologia vegetal. **São Paulo: Ceres**, 1981.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia agrícola**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciências Exatas, 202 p. 2007.

PORTELA, G. L. F.; LIMA, M. G. de; PADUA, L. E. de M., SINIMBU NETO, F. de A.; MARTINS, A. B. G. Zoneamento agroclimático da cultura da mangueira no Estado do Piauí. **Revista Brasileira De Fruticultura**, 30(4), 1036–1039. 2008.

RICCE, W. S.; CARVALHO, S. L. C.; CARAMORI, P. H.; AULER, P. A. M.; ROBERTO, S. R. Zoneamento agroclimático da cultura do abacaxizeiro no Estado do Paraná. **Revista Semina** 35, 2337-2346. 2014.

SANTOS, D. C.; SANTOS, C. A. G.; BRASIL NETO, R. M.; SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. C. Precipitation variability using GPCC data and its relationship with atmospheric teleconnections in Northeast Brazil. **Climate Dynamics**, 2023.

SEVERINO, R. P. **Busca de produtos naturais como inibidores específicos de enzimas**. 248 f. Tese (Doutorado em Ciências – Química Inorgânica) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

SILVA, A. F.; MOUCO, M. A. C.; SANTANA, L. M.; FRANÇA, C. R. R. S. Cultivo de mangueira com diferentes compostos orgânicos. Embrapa Semiárido, Petrolina. Embrapa Semiárido. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 81, 2010.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFRRPE. 2026.

TEIXEIRA, A. H. de C.; AZEVEDO, P. V. Zoneamento agroclimático para a videira européia no Estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Campinas, v.4, n.1, p.139-145, 1996.

TEIXEIRA, A. H. de C.; SOUZA, R. A. de; RIBEIRO, P. H. B.; REIS, V. C. da S.; SANTOS, M. das G. L. dos. Aptidão agroclimática da cultura da videira no Estado da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental**, 6(1), 107–111. 2002.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review** 38, 55-94. 10.2307/210739. 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publication in Climatology**, n.8, Laboratory of Climatology, Centerton, N. J. 1955.

TOLEDO, J. V.; MARTINS, L. D.; KLIPPEL, V. H.; PEZZOPANE, J. E. M.; TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T. Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão manso (*Jatropha Curcas* L.) e da mamona (*Ricinus Communis* L.) no estado do Espírito Santo. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 05, p. 41-51, 2009.

Capítulo 3 - ARRANJO CLIMÁTICO E APTIDÃO DE CULTURAS PARA O POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB, BRASIL

Ana Karolina Peres de Melo Silva

Salatiel Ewen Braga

Raimundo Mainar de Medeiros

Romildo Morant de Holanda

Vinícius Dantas de Araújo

RESUMO

A prática da agricultura de precisão permite direcionar o uso da terra para áreas com maior potencial produtivo e econômico. Neste estudo, realizou-se a caracterização climática e o zoneamento agroclimático do Povoado Ribeira de Cabaceiras – PB, com o objetivo de avaliar a aptidão de culturas agrícolas nesse território semiárido. Foram utilizados dados mensais de precipitação (2010–2023), interpolados por meio do método da Média Ponderada pelo Inverso da Distância ao Quadrado, com base em estações meteorológicas de municípios vizinhos. As temperaturas médias do ar foram estimadas com o software Estima_T, que aplica um modelo empírico quadrático em função da latitude, longitude e altitude. Os resultados indicaram uma deficiência hídrica anual de 1.090,8 mm e ausência de excedente hídrico, caracterizando um clima úmido-subúmido, megatérmico, com déficit acentuado de água. A análise das culturas de milho e sorgo, considerando apenas o período chuvoso normal e sem o uso de irrigação, demonstrou restrições ao cultivo de sequeiro. O estudo reforça a importância do conhecimento climático para a adequação das práticas agrícolas em regiões semiáridas.

Palavras-Chave: Déficit hídrico, Agricultura de precisão, Zoneamento agroclimático, Cultivo de sequeiro, Planejamento agrícola.

CLIMATIC ARRANGEMENT AND CROP SUITABILITY FOR THE VILLAGE OF RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRAZIL

ABSTRACT

Precision agriculture practices allow for land use to be directed toward areas with higher productive and economic potential. In this study, the climatic characterization and agroclimatic zoning of the village of Ribeira de Cabaceiras – PB were conducted, aiming to assess the suitability of agricultural crops in this semi-arid region. Monthly precipitation data (2010–2023) were used, interpolated using the Inverse Distance Weighted (IDW) method, based on meteorological stations from neighboring municipalities. Average air temperatures were estimated using the Estima_T software, which applies a quadratic empirical model based on latitude, longitude, and altitude. The results indicated an annual water deficit of 1,090.8 mm and no water surplus, characterizing a humid-subhumid, megathermal climate with a pronounced water deficit. The analysis of maize and sorghum crops, considering only the normal rainy season and without irrigation, showed limitations for rainfed cultivation. The study reinforces the importance of climatic knowledge for adapting agricultural practices in semi-arid regions.

Keywords: Water déficit, Precision agriculture, Agroclimatic zoning, Rainfed farming, Agricultural planning.

INTRODUÇÃO

A análise climática, com base nos índices de aridez, umidade e balanço hídrico, é fundamental para subsidiar estudos de zoneamento agroclimático, orientando a aptidão de culturas a serem implantadas em determinada região. Para isso, são utilizados o evapotranspiriograma e os cálculos dos índices de vegetação (Iv), repouso por seca (Irs), repouso por frio (Irf) e índice hídrico (Ih).

As oscilações climáticas de uma área ou região desempenham papel fundamental nas atividades socioeconômicas, especialmente no setor agrícola. O clima é composto por um conjunto de fatores interdependentes que determinam as condições de vida e influenciam o desenvolvimento humano. Entre os elementos climáticos, a precipitação se destaca como um dos principais fatores condicionantes das atividades produtivas, com impactos diretos na economia (Sleiman e Silva, 2008).

Medeiros (2020) avaliou a aptidão agroclimática dos cultivos de milho e sorgo no estado da Paraíba, considerando o período chuvoso normal e excluindo o uso de irrigação, ou seja, voltado ao plantio de sequeiro. Para o milho, a aptidão plena foi identificada nas regiões do Litoral e Agreste. Já nas regiões do Cariri/Curimataú e parte do Sertão, a aptidão foi considerada restrita devido à elevada deficiência hídrica. Aptidão moderada foi observada em áreas do Cariri/Curimataú e Alto Sertão. Em relação ao sorgo, a aptidão plena sem restrições foi registrada no Litoral e em áreas isoladas do Cariri/Curimataú. A aptidão plena com período chuvoso prolongado localiza-se no Agreste e em porções isoladas do Alto Sertão.

A agricultura de precisão permite adaptar o uso da terra às áreas com maior potencial de produtividade e rentabilidade. Essa abordagem visa identificar, analisar, gerenciar e monitorar a variabilidade espacial e temporal dos fatores que influenciam o rendimento das culturas, contribuindo para o aumento da produção, da rentabilidade e para a redução de impactos ambientais (Duffera et al., 2007; Singh et al., 2011; Valente et al., 2012).

Diante disso, este estudo objetivou caracterizar o clima e realizar o zoneamento agroclimático do Povoado Ribeira de Cabaceiras, visando identificar as aptidões agroclimáticas para culturas agrícolas e fornecer subsídios técnicos para o uso mais eficiente da terra no contexto semiárido.

METODOLOGIA

Os dados mensais de precipitação (mm), referentes ao período de 2010 a 2023, foram interpolados pelo método da Média Ponderada pelo Inverso da Distância ao Quadrado, considerando os municípios vizinhos: São João do Cariri, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel, Boqueirão e Boa Vista (AESAs, 2023).

As temperaturas médias do ar foram estimadas utilizando o software Estima_T, o qual aplica um modelo empírico de superfície térmica quadrática em função das coordenadas locais (latitude, longitude e altitude), conforme apresentado na Equação 1, com base em Cavalcanti et al. (2006):

$$T = C_0 + C_1\lambda + C_2\varnothing + C_3h + C_4\lambda^2 + C_5\varnothing^2 + C_6h^2 + C_7\lambda\varnothing + C_8\lambda h + C_9\varnothing h \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

$C_0, C_1, \dots, C_9$: são as constantes;

$\lambda, \lambda_2, \lambda\emptyset, \lambda h$: longitude;

$\emptyset, \emptyset_2, \lambda\emptyset$: latitude;

$h, h_2, \lambda h, \emptyset h$: altitude.

Foi elaborada uma planilha eletrônica para o processamento dos dados estimados pelo Estima_T, sendo posteriormente calculadas as médias mensais e anual da temperatura do ar.

O cálculo do Balanço Hídrico (BH) e dos índices de aridez, umidade e hídrico foi realizado segundo a metodologia de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955). Utilizou-se uma planilha eletrônica desenvolvida por Medeiros (2018), considerando as Equações 2, 3 e 4:

$$I_a = 100 \frac{\sum DEF}{\sum ETP} \quad Eq. (2)$$

$$I_u = 100 \frac{\sum EXC}{\sum ETP} \quad Eq. (3)$$

$$I_h = I_u - 0,6 \times I_a \quad Eq. (4)$$

Em que:

I_a : índice de aridez em porcentagem;

I_u : índice de umidade em porcentagem;

I_h : índice hídrico em porcentagem;

DEF: deficiência hídrica;

EXC: excesso hídrico; e

ETP: evapotranspiração potencial.

A evapotranspiração potencial anual (ETP) foi estimada pela Equação 5:

$$ETP = F_c \times 16 \times \left(\frac{10 \times T}{I} \right)^a \quad Eq. (5)$$

Onde:

ETP: evapotranspiração potencial anual em mm ano⁻¹;

F_c : Fator de correção, Tabela 1;

T: Temperatura °C;

I: Índice anual de calor, correspondente a soma dos doze índices mensais; e

a: Função cúbica anual de calor dada por:

$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 0,01791 I + 0,492$.

Tabela 1. Fator de correção (F_c) em função dos dados mensais.

Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Fator	1,80	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10

Fonte: Adaptado de Thornthwaite (1948).

Para as classes climáticas aplicou-se a metodologia de Thornthwaite (1948) onde valeu-se dos índices de aridez (I_a), umidade (I_u), hídrico (I_h) e (C_v), segundo a concentração da ETP na estação quente, definida pelos três meses corridos de temperatura mais elevada do ano. A centralização da ETP na estação quente (C_v) representa a percentagem da evapotranspiração anual que ocorre nos meses a, b, c, da temperatura do trimestre mais quente do ano, conforme a Equação 6.

$$C_v = 100 \times \left(\frac{ETP_a \times ETP_b \times ETP_c}{ETP} \right) \quad Eq. (6)$$

Onde:

C_v : Concentração da evapotranspiração na estação mais quente do ano em %;

ETP a, b, c: evapotranspiração potencial nos meses a, b, c em mm mês⁻¹; e

ETP: evapotranspiração potencial anual em mm ano⁻¹.

O evapopluviograma foi construído com base no balanço hídrico e adaptado às classes climáticas apropriadas para diferentes culturas, por meio de normas de coordenadas ortogonais (Matos et al., 2014). Nele, os dados da ETP foram plotados em função da precipitação mensal, dividindo o gráfico em seis setores hídricos que indicam as faixas de adequação hídrica e térmica para o cultivo.

A partir do evapopluviograma, foram determinados os índices de vegetação (I_v), repouso por seca (I_{rs}), repouso por frio (I_{rf}) e índice hídrico (I_h), os quais subsidiam a classificação da aptidão climática das culturas conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Resumo climático das aptidões das culturas como: Algodão Herbáceo; Cana-de-Açúcar, Feijão; Milho; Mamona; Sisal e Sorgo, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Cultura	Aptidão	Crítérios	Observações
Cana-de-açúcar	Plena	$I_h > 0$; $D < 200$ mm	Boa condição hídrica para o desenvolvimento da cultura.
	Moderada	$I_h > 0$; $D > 200$ mm	Seca estacional; cultivo recomendado em várzeas úmidas.
	Restrita	$0 > I_h > -10$	Seca estacional intensa. Cultivo possível com irrigação suplementar.
	Inaptidão	$I_h < -10$	Carência hídrica severa.
Algodão herbáceo	Plena	$30 \leq I_v < 50$; $I_{sv} \leq 1$; $I_{rs} \geq 4$	Boas condições hídricas e térmicas.
	Moderada	$30 < I_v < 50$; $I_{sv} > 1$; $I_{rs} \geq 4$	Seca moderada no período vegetativo.
	Restrita	$30 < I_v < 50$; $I_{sv} \leq 1$; $I_{rs} < 4$	Vegetação curta, seca e umidade excessiva na maturação.
	Inaptidão	$I_v < 20$ ou $I_v > 50$; $I_v < 30$ e $I_{sv} > 1$	Seca intensa em todo o ciclo.
Feijão	Plena	$I_v > 30$; $1 < I_{rs} < 5$; $D < 20$; $T > 22$ °C	Melhores condições climáticas para o cultivo.
	Moderada	$25 < I_v < 30$ ou $I_v \approx 20$; $T > 22$ °C	Período vegetativo curto; necessidade de irrigação.
	Restrita	$20 < I_v < 25$	Insuficiência hídrica.

Cultura	Aptidão	CrITÉRIOS	Observações
	Inaptidão	$Iv < 20$; $D > 20$	Cultivo apenas com irrigação.
Milho	Plena	$40 < Iv < 60$; $D > 0$; $T > 19$ °C	Condições ideais para o desenvolvimento.
	Moderada	$30 < Iv < 40$; $D < 0$; $E < 500$	Pequena deficiência hídrica. Umidade excessiva na maturação.
	Restrita	$Iv < 20$	Deficiência hídrica severa ou baixa temperatura.
	Inaptidão	$Ih > -10$; $D > 100$; $E < 500$	Cultivo inviável por deficiência hídrica severa.
Sorgo	Plena	$20 < Iv < 30$; $D > 200$ mm; $T > 18$ °C	Condições hídricas e térmicas favoráveis, inclusive na estação seca.
	Moderada	$30 < Iv < 40$; $E < 500$ mm	Excesso hídrico afeta a produção.
	Restrita	$40 < Iv < 60$	Excesso hídrico acentuado.
	Inaptidão	$Iv > 60$	Cultivo não recomendado.
Sisal	Plena	$Ih > -10$; $D > 100$; $E < 500$	Boas condições hídricas.
	Moderada	$-30 < Ih < -10$; $E < 500$	Deficiência hídrica moderada. Umidade excessiva em algumas fases.
	Restrita	$-40 < D < -30$	Deficiência hídrica acentuada.
	Inaptidão	$Ih < -40$	Deficiência muito severa.
Mamona	Plena	$-20 < Ih < 0$; $D > 60$; $T > 20$ °C	Boas condições hídricas e térmicas.
	Moderada	$-40 < Ih < -20$; $D < 60$; $T > 20$ °C	Pequena deficiência hídrica; tolerância em variedades resistentes.
	Restrita	$Ih > 0$; $D > 100$; $T < 19$ °C	Áreas muito secas ou muito úmidas. Insuficiência térmica.
	Inaptidão	$Ih < -40$	Deficiência hídrica severa.

Legenda: D – Deficiência hídrica; E – Excesso hídrico; Ih – Índice hídrico anual proveniente do BH; Iv – Índice de vegetação; Irs – Índice de repouso por seca; Isv – Índice de seca na vegetação; T – Temperatura média anual.

Fonte: Adaptado de Ometto (1981).

RESULTADO E DISCUSSÃO

A região Nordeste do Brasil (NEB) apresenta elevada variabilidade nos elementos meteorológicos, sendo o principal fator a oscilação sazonal da precipitação, em função da posição geográfica, orografia, atuação de sistemas meteorológicos em diferentes escalas, além da variabilidade de pressão e temperatura (Oliveira et al., 2017; Santos et al., 2023).

Pertencentes ao grupo de plantas C4, o milho e o sorgo suportam altas incidências de radiação solar, respondendo com elevadas taxas fotossintéticas, o que minimiza a abertura estomática e, conseqüentemente, reduz a perda de água. Assim, o aumento da intensidade luminosa tende a resultar em maior produtividade, desde que as demais condições climáticas sejam favoráveis (EMBRAPA, 2012).

Os dados do balanço hídrico (BH), com capacidade de campo de 100 mm no período de 2010 a 2023 (Tabela 3), revelaram uma temperatura média anual de 25,6 °C, com variações mensais de 23,4 °C (julho) a 27,0 °C (dezembro), correspondentes aos

picos térmicos mínimo e máximo. As precipitações oscilaram entre 4,9 mm (setembro) e 59,7 mm (março), totalizando 382,9 mm por ano. Segundo Lima et al. (2024), tais flutuações são provocadas por sistemas meteorológicos responsáveis por chuvas irregulares e mal distribuídas, bloqueios atmosféricos, movimentos verticais ascendentes e descendentes, transporte de vapor e umidade, incidência de radiação solar e cobertura de nuvens.

A evapotranspiração potencial (ETP) superou os índices de precipitação em 84,87%, com variações mensais entre 88,6 mm (julho) e 154,9 mm (dezembro). A evaporação anual foi equivalente ao total pluviométrico. As variações mensais de evaporação acompanharam as da precipitação, entre 4,9 mm e 59,7 mm, corroborando os resultados de Medeiros (2018).

A deficiência hídrica anual foi de 1090,8 mm, com valores mensais que variaram de 42,3 mm (janeiro) a 134,6 mm (dezembro), sem registro de excedentes hídricos no período analisado. Resultados semelhantes foram relatados por França e Medeiros (2020), IPCC (2007, 2013, 2014), Marengo et al. (2011), Marengo e Camargo (2007, 2008), além de Medeiros (2018).

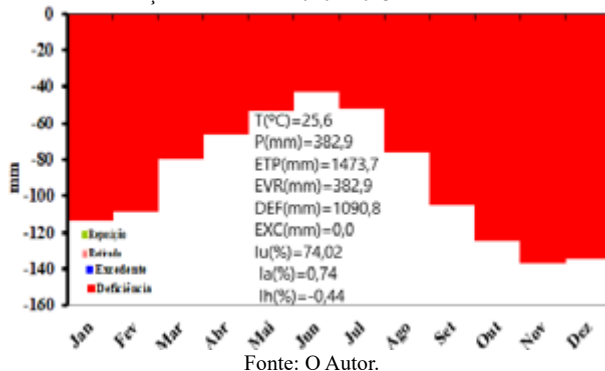
Tabela 3. Elementos do balanço hídrico entre 2010 - 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,8	32,7	146,0	32,7	113,3	0,0
Fevereiro	26,6	23,2	131,4	23,2	108,2	0,0
Março	26,3	59,7	139,1	59,7	79,4	0,0
Abril	25,9	58,7	124,7	58,7	66,0	0,0
Maio	25,0	59,5	112,8	59,5	53,2	0,0
Junho	24,1	51,7	94,0	51,7	42,3	0,0
Julho	23,4	36,8	88,6	36,8	51,8	0,0
Agosto	23,9	19,3	95,2	19,3	75,9	0,0
Setembro	25,0	4,9	109,6	4,9	104,6	0,0
Outubro	26,1	8,6	133,5	8,6	124,9	0,0
Novembro	26,8	7,4	143,9	7,4	136,5	0,0
Dezembro	27,0	20,3	154,9	20,3	134,6	0,0
Média/Total	25,6	382,9	1473,7	382,9	1090,8	0,0

Fonte: O autor.

A Figura 1 apresenta o extrato do balanço hídrico entre 2010 e 2023, evidenciando deficiências hídricas moderadas a severas ao longo de todo o ano. Resultados compatíveis foram encontrados por França et al. (2021) e Medeiros et al. (2022). Para facilitar a compreensão, os valores anuais do balanço hídrico foram incluídos no gráfico.

Figura 1. Extrato do balanço hídrico entre 2010 - 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



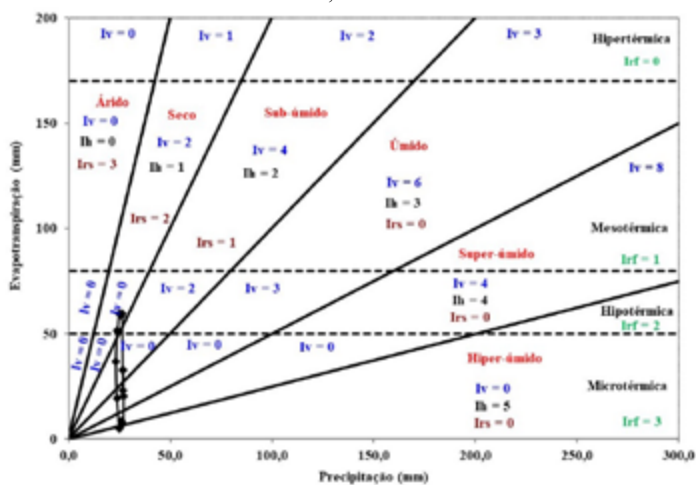
O clima de uma região resulta da interação entre fatores abióticos como relevo, precipitação, temperatura, tipo de solo, umidade relativa, latitude, continentalidade/maritimidade e correntes marítimas; e bióticos, como a cobertura vegetal (Braga et al., 2019). Entender como cada componente influencia ou se relaciona com o ambiente é essencial para identificar transformações climáticas, tanto em ecossistemas naturais quanto em áreas urbanizadas.

Entre as variáveis atmosféricas, destaca-se a temperatura, que impacta diretamente os processos fisiológicos da flora e fauna (Oliveira, 2023). O conhecimento prévio desses elementos é fundamental para o planejamento agrícola e ambiental, especialmente na definição da aptidão de cultivos em diferentes contextos geográficos (França e Medeiros, 2020). No semiárido nordestino, as chuvas são escassas, irregulares e concentradas em eventos de curta duração, muitas vezes sem gerar volumes significativos de escoamento. Essa condição reforça a importância da variabilidade pluviométrica e da influência dos sistemas meteorológicos em múltiplas escalas (Medeiros, 2018).

A Figura 2 mostra as repartições dos domínios hídricos e térmicos do evapopluviograma do Povoado Ribeira de Cabaceiras, com predominância dos climas subúmido e úmido.

O índice Ih representa as condições hídricas anuais, incluindo períodos de seca e chuva; o índice Iv reflete a capacidade vegetativa da região, considerando as condições térmicas e hídricas disponíveis; o índice Irs indica a presença e intensidade da seca fora do período de crescimento vegetal; já o Irf refere-se à inadequação térmica ao desenvolvimento das culturas. A temperatura média anual, deficiência e excesso hídrico foram comparados com os dados da Tabela 2 para avaliação da aptidão agroclimática do feijão e milho, conforme apresentado na Tabela 4. Os resultados obtidos estão em consonância com estudos realizados para o Nordeste (Medeiros et al., 2013; Matos et al., 2015).

Figura 2. Distribuição das repartições hídricas e térmicas do evapluviograma do Povoado Ribeira de Cabaceiras, entre 2010 – 2023.



Fonte: O Autor.

Tabela 4. Índices climáticos do Povoado Ribeira de Cabaceiras entre 2010 – 2023.

Índices Climáticos	Iv (%)	Irs (%)	Irf (%)	Cv	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
	16	16	16	444,8	25,6	382,9	1473,7	1090,8	0,0

Fonte: O Autor.

A aptidão agrícola de uma área depende essencialmente do regime pluviométrico, térmico e da altimetria local (Toledo et al., 2009), sendo esses elementos fundamentais para o manejo sustentável das culturas.

CONCLUSÃO

Os resultados evidenciaram deficiência hídrica anual de 1090,8 mm e ausência de excedente hídrico no período analisado.

O clima da região foi classificado como Úmido Subúmido Megatérmico com deficiência hídrica, com 13,3% da evapotranspiração anual concentrada no trimestre mais quente do ano.

As aptidões agroclimáticas do milho e do sorgo foram avaliadas com base no regime de chuvas naturais, desconsiderando o uso de irrigação, ou seja, em condições de sequeiro. Ambas as culturas apresentaram aptidão restrita, sobretudo devido à elevada deficiência hídrica, limitando seu potencial produtivo.

REFERÊNCIAS

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2023.

ARAÚJO, S. R. D.; SILVA, P. F.; MATOS, R. M.; DANTAS NETO, J.; MELO JÚNIOR, A. P.; SABOYA, L. M. F. Balanço hídrico e aptidão climática de culturas para as mesorregiões da paraíba. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.13, n. 1, p. 3247-3261, 2019.

BRAGA, S. E.; FRANÇA, M. V. de; ROLIM NETO, F. C.; MEDEIROS, R. M. VARIABILIDADE DECADAL DA PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA MÍNIMA DO AR EM SÃO BENTO DO UNA -

PE, BRASIL. In: Giovanni Seabra. (Org.). **Terra - Mudanças Climáticas e Biodiversidade**. Ied.Ituiutaba-MG: Barlavento, 2019, v. p. 725-739.

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**, 10. p.140-147. 2006.

DUFFERA, M.; WHITE, J. G.; WEISZ, R. Spatial variability of Southeastern U.S. Coastal Plain soil physical properties: Implications for site-specific management. **Geoderma**, v. 137, n. 3-4, p. 327-339, 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Aptidão climática do Estado de Alagoas para culturas agrícolas**. Relatório Técnico. Convênios SEAGRI-AL/Embrapa Solos n.10200.04/0126-6 e 10200.09/0134 5. Recife: Embrapa Solos, 86p. 2012.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática do sorgo como suporte alimentar a avicultura de São Bento Una-Pernambuco, Brasil. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 4, p. 275-283, 2020.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; SABOYA, L. M. F.; ARAUJO, W. R.; ROLIM NETO, F. C.; PEREIRA, M. L. F.; BRAGA, S. E. Balanço hídrico sequencial e sua respectiva erosão pluvial no município de Amparo de São Francisco – SE. **Revista Recima** 21, v. 2, p. e24243, 2021.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Summary for policymakers In: Climate Change 2014: **Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA) ed C B Field et al. (Cambridge University Press) pp 1–32. 2014.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part B: Regional Aspects. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers, in Climate Change 2007: **Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. edited by M. 2007.

LIMA, M. G. M.; MEDEIROS, R. M.; SABOYA, L. M.F. Oscilações quinquenal do balanço hídrico no povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**. 2024.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. ISBN 978-85-64265-01-1. INSA. Pag. 303 – 422. Campina Grande - PB. 2011.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. G. Trends in Extreme air temperatures in Southern Brazil, **International Journal Climatology**, v.28, p. 893-904. 2007.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C.C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960 - 2002. **International Journal of Climatology**. v.28, p.893-904. 2008.

MATOS, R. M.; MEDEIROS, R. M.; FRANCISCO, P. R. M.; SILVA, P. F.; SANTOS, D. Caracterização e aptidão climática de culturas para o município de Alhandra - PB, Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 3, p. 183-192, 2015.

MATOS, R. M.; SILVA, J. A. S.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática para a cultura do feijão caupi do município de Barbalha - CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n.6, p.422-431, 2014.

MEDEIROS, R. M. **Estudo agrometeorológico para o Estado da Paraíba**. Distribuição avulsa, p.165. 2018.

MEDEIROS, R. M. Milho e sorgo e suas potencialidades nas aptidões climáticas para o Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Mirante**, Anápolis (GO), v. 13, n. 2, dez. 2020. ISSN 1981-4089. 2020.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

MEDEIROS, R. M.; AZEVEDO, P. V.; SABOYA, L. M. F. Classificação climática e zoneamento agroclimático para o município de Amarante-PI. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, n.2, p.170-180, 2013.

MEDEIROS, R. M.; FRANÇA, M. V.; SABOYA, L. M. F.; HOLANDA, R. M.; WAGNER, R. B.; BRAGA, S. E. Balanço hídrico e seus comparativos com 1996-2005, 2006-2015 em relação a 2015 no município de São Bento do Una - PE. **E-Acadêmica**, 3, e7532226. 2022.

OLIVEIRA, L. D. **As contribuições da climatologia para prevenção e combate a incêndios florestais no Parque Estadual Serra do Rola Moça**. 2023. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais. 232p. 2023.

OLIVEIRA, P. T.; SANTOS e SILVA, C. M.; LIMA, K. C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, 130, 77–90. 2017.

OMETTO, J. C. Bioclimatologia vegetal. **São Paulo: Ceres**, 1981.

SANTOS, D. C.; SANTOS, C. A. G.; BRASIL NETO, R. M.; SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. C. Precipitation variability using GPCC data and its relationship with atmospheric teleconnections in Northeast Brazil. **Climate Dynamics**, 2023.

SINGH, P. K.; PARRY, F. A.; PARVEEN, K.; NARAYAN, S.; AMIN, A.; VAIDYA, A. Precision farming and its role in vegetable production. **International Journal of Current Research**, v. 3, n. 4, p. 74-81, 2011.

SLEIMAN, J.; SILVA, M. E. S. **A climatologia de precipitação e a ocorrência de veranicos na porção noroeste do estado do Rio Grande do Sul**. SIMPGEO-SP, Rio Claro, 2008.

THORNTWHAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review** 38, 55-94. 10.2307/210739. 1948.

THORNTWHAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publication in Climatology**, n.8, Laboratory of Climatology, Centerton, N. J. 1955.

TOLEDO, J. V.; MARTINS, L. D.; KLIPPEL, V. H.; PEZZOPANE, J. E. M.; TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T. Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão manso (*Jatropha Curcas* L.) e da mamona (*Ricinus Communis* L.) no estado do Espírito Santo. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 05, p. 41-51, 2009.

VALENTE, D. S. M.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SANTOS, N. T.; SANTOS, F. L. Definition of management zones in coffee production fields based on apparent soil electrical conductivity. **Scientia Agricola**, v. 69, p. 173-179, 2012.

Capítulo 4 - POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB E SUA APTIDÃO PARA A CULTIVAR PALMA FORRAGEIRA

Romildo Morant de Holanda
Ana Karolina Peres de Melo Silva
Salatiel Ewen Braga
Liliane Guimarães Rocha
Raimundo Mainar de Medeiros

RESUMO

A palma forrageira (*Opuntia* sp.) exerce papel essencial na sustentabilidade das atividades agropecuárias no Semiárido brasileiro, principalmente por sua elevada resistência à escassez hídrica. Este estudo teve como objetivo identificar a aptidão climática e realizar o zoneamento agroclimático da cultura no Povoado Ribeira de Cabaceiras – PB, com base em indicadores climáticos compatíveis com suas exigências fisiológicas. Foram utilizados dados mensais de precipitação (2010–2023), interpolados pelo método da Média Ponderada pelo Inverso da Distância ao Quadrado, com base em estações meteorológicas de municípios vizinhos. As temperaturas médias do ar foram estimadas com o auxílio do software Estima_T, que aplica um modelo empírico de superfície quadrática, considerando latitude, longitude e altitude. O balanço hídrico climatológico foi calculado para uma capacidade de campo de 100 mm, permitindo a obtenção de índices de umidade, aridez e disponibilidade hídrica. Os resultados demonstraram compatibilidade entre o clima local e as exigências fisiológicas da palma forrageira, destacando sua boa adaptação às condições de déficit hídrico da região. A principal limitação observada para o cultivo refere-se às características físicas dos solos predominantes. Os achados deste estudo contribuem para o planejamento agrícola e para a redução dos riscos climáticos associados à produção no Semiárido.

Palavras-chave: Resiliência agrícola, Zoneamento produtivo, Sustentabilidade no Semiárido, Balanço hídrico, Planejamento territorial.

RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB VILLAGE AND ITS SUITABILITY FOR FORAGE CACTUS CULTIVATION

ABSTRACT

Forage cactus (*Opuntia* sp.) plays an essential role in the sustainability of agricultural and livestock activities in the Brazilian semi-arid region, mainly due to its high resistance to water scarcity. This study aimed to identify the climatic suitability and conduct agroclimatic zoning for this crop in the village of Ribeira de Cabaceiras – PB, based on climatic indicators compatible with its physiological requirements. Monthly precipitation data (2010–2023) were used, interpolated using the Inverse Distance Weighted (IDW) method, based on meteorological stations from neighboring municipalities. Average air temperatures were estimated using the Estima_T software, which applies a quadratic surface empirical model considering latitude, longitude, and altitude. The climatological water balance was calculated for a field capacity of 100 mm, allowing for the determination of humidity, aridity, and water availability indices. The results demonstrated compatibility between the local climate and the physiological requirements

of forage cactus, highlighting its good adaptation to the region's water deficit conditions. The main limitation observed for cultivation relates to the physical characteristics of the predominant soils. The findings of this study contribute to agricultural planning and the reduction of climate-related risks in the semi-arid region.

Keywords: Agricultural resilience, Productive zoning, Semi-arid Sustainability, Water balance, Land-use planning.

INTRODUÇÃO

A palma forrageira (*Opuntia* sp.), pertencente à família das Cactáceas, é cultivada em diversos continentes, exceto na Antártica, ocupando mais de 1.000.000 hectares no mundo, sendo utilizada principalmente para a produção de frutas, forragem e como planta ornamental (Reyes-Agüero et al., 2006). No Semiárido brasileiro, destaca-se pela sua ampla utilização como forrageira, devido à sua notável resistência à escassez hídrica (Santos et al., 2001; Araújo e Oliveira, 2005; Pinto et al., 2011). Segundo Bezerra et al. (2014), ao longo das décadas, a palma forrageira consolidou-se como uma das principais alternativas para a alimentação dos rebanhos durante os períodos prolongados de seca, quando as pastagens nativas e outras forrageiras de maior exigência hídrica, como gramíneas e leguminosas, não resistem às condições adversas.

Marengo et al. (2004) destacam que, diante da variabilidade da deficiência hídrica, o planejamento agrícola seguro e economicamente viável requer o uso de sistemas de irrigação. Assim, o conhecimento histórico das variáveis climáticas, especialmente da precipitação e da evapotranspiração, torna-se indispensável para a definição de estratégias de manejo e mitigação dos efeitos da seca.

A produtividade de culturas agrícolas, especialmente em regimes de sequeiro, depende fortemente da distribuição e intensidade das chuvas (Bergamaschi et al., 2004). O déficit ou excesso hídrico pode comprometer desde o preparo do solo até as etapas finais da produção. Matos et al. (2017), ao realizarem o zoneamento agroclimático da palma forrageira no município de Barbalha – CE, utilizando dados climáticos do período de 1974 a 2013, concluíram que a região apresenta aptidão restrita para o cultivo da espécie devido à inadequação das condições climáticas e hídricas locais.

Neste contexto, o presente estudo objetiva identificar as zonas de aptidão e elaborar o zoneamento agroclimático da cultura da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o Povoado Ribeira de Cabaceiras, com base em indicadores climáticos compatíveis com suas exigências fisiológicas.

METODOLOGIA

Os dados mensais de precipitação (mm), referentes ao período de 2010 a 2023, foram interpolados pelo método da Média Ponderada pelo Inverso da Distância ao Quadrado, considerando as estações meteorológicas dos municípios vizinhos: São João do Cariri, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel, Boqueirão e Boa Vista (AESA, 2023).

As temperaturas médias do ar foram estimadas por meio do software Estima_T, que emprega um modelo empírico de superfície quadrática baseado nas coordenadas geográficas de latitude, longitude e altitude (Cavalcanti et al., 2006). Os dados estimados foram organizados em planilhas eletrônicas, a partir das quais se calcularam as médias mensais e anuais de temperatura.

$$T = C_0 + C_1\lambda + C_2\varnothing + C_3h + C_4\lambda_2 + C_5\varnothing_2 + C_6h_2 + C_7\lambda\varnothing + C_8\lambda h + C_9\varnothing h \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

$C_0, C_1, \dots, C_9$: são as constantes;

$\lambda, \lambda_2, \lambda\varnothing, \lambda h$: longitude;

$\varnothing, \varnothing_2, \lambda\varnothing$: latitude;

$h, h_2, \lambda h, \varnothing h$: altitude.

Uma planilha eletrônica foi elaborada para a obtenção dos dados estimado pelo Estima_T, e após calculado a média mensal e anual da referida temperatura estudada.

O cálculo do balanço hídrico climatológico (BH) seguiu a metodologia proposta por Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955), utilizando planilha eletrônica desenvolvida por Medeiros (2018). Essa abordagem considerou a precipitação como entrada de água e a evapotranspiração como perda de umidade no solo, com estimativa da Capacidade de Armazenamento de Água no Solo (CAD) fixada em 100 mm. A Evapotranspiração Potencial (ETP) foi obtida conforme a equação 2:

$$ETp = Fc \cdot 16 \cdot \left(10 \frac{T}{I}\right)^a \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que;

ETp: Evapotranspiração potencial anual (mm ano^{-1});

Fc: Fator de correção, segundo a Tabela 1;

T: Temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$);

I: Índice anual de calor, correspondente a soma dos doze índices mensais; e

a: Função cúbica do índice anual de calor dada por:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 0,01791 \cdot I + 0,492.$$

Tabela 1. Fator de correção (Fc) em função dos dados mensais.

Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Fator	1,80	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10

Fonte: Adaptado de Thornthwaite (1948).

Para determinar a aptidão climática da palma forrageira (*Opuntia* sp.), utilizaram-se os indicadores propostos por Souza et al. (2008), Moura et al. (2011) e Bezerra et al. (2014), aplicados anteriormente no zoneamento agroclimático da cultura nos estados de Pernambuco e Paraíba. Com base no BH, calcularam-se os índices de aridez (Ia), umidade (Iu) e hídrico (Ih), conforme as equações apresentadas na metodologia de Thornthwaite (1948), os quais permitiram caracterizar o clima da região e avaliar sua compatibilidade com a cultura.

O Ia caracteriza-se por indicar a deficiência hídrica expressa em percentagem da evapotranspiração potencial (necessidade). É definido em função da deficiência e evapotranspiração potencial (ambas anuais), expresso da seguinte forma:

$$I_a = 100 \frac{\sum DEF}{\sum ETP} \quad \text{Eq. (3)}$$

O I_u representa o excesso hídrico expresso em percentagem da necessidade que é representada pela evapotranspiração potencial, ambas anuais, pela expressão:

$$I_u = 100 \frac{\sum EXC}{\sum ETP} \quad Eq. (4)$$

Geralmente tem-se durante o ano estações de excesso e falta de água. Por isso, define-se o índice hídrico da seguinte maneira:

$$I_h = I_u - 0,6 \times I_a \quad Eq. (5)$$

Em que:

I_a : Índice de aridez (%);

I_h : Índice hídrico (%);

I_u : Índice de umidade (%);

$\sum DEF$: Somatório da deficiência hídrica anual (mm ano^{-1});

$\sum EXE$: Somatório do excedente hídrico anual (mm ano^{-1}); e

$\sum ETP$: Somatório da evapotranspiração anual (mm ano^{-1}).

Os valores dos indicadores climáticos para o Povoado Ribeira de Cabaceiras, Brasil foram aplicados segundo os critérios da Tabela 2, para determinação da aptidão climática, classificando a cultura da palma forrageira em: aptidão plena, aptidão restrita e aptidão inaptidão.

Tabela 2. Aptidão e indicadores climáticos da cultura da palma forrageira.

Indicador Climático	Aptidão Plena	Aptidão Restrita	Inaptidão
Temperatura média (°C)	$16,1 \leq T_{\text{méd}} \leq 25,4$	$T_{\text{méd}} < 16,1$ ou $T_{\text{méd}} > 25,4$	–
Temperatura máxima (°C)	$28,5 \leq T_{\text{max}} \leq 31,5$	$T_{\text{max}} < 28,5$ ou $T_{\text{max}} > 31,5$	–
Temperatura mínima (°C)	$8,6 \leq T_{\text{min}} \leq 20,4$	$T_{\text{min}} < 8,6$ ou $T_{\text{min}} > 20,4$	–
Amplitude térmica (°C)	$10,0 \leq \text{AMT} \leq 17,2$	$\text{AMT} < 10,0$ ou $\text{AMT} > 17,2$	–
Precipitação anual (mm)	$368,4 \leq \text{Prec} \leq 812,4$	$\text{Prec} < 368,4$ ou $812,4 < \text{Prec} \leq 1089,9$	$\text{Prec} > 1089,9$
Índice de umidade (I_u) (%)	$-65,6 \leq I_u \leq -31,8$	$-31,8 < I_u \leq 7,7$ ou $I_u < -65,6$	$I_u > 7,7$

Legenda: $T_{\text{méd}}$ =Temperatura média; $T_{\text{máx}}$ =Temperatura máxima; $T_{\text{mín}}$ =Temperatura mínima; AMT =Amplitude térmica; Prec =Precipitação anual; I_u =Índice de umidade; I =Inaptidão.

Fonte: Adaptado de Souza et al. (2008).

Para a aptidão e zoneamento agroclimático utilizou-se dos critérios para classificação descritos por Moura et al. (2011) e referenciado por Bezerra et al. (2014), da seguinte forma:

Plena: condições climáticas ideais para o desenvolvimento da cultura, sem restrições;

Restrita: presença de, no mínimo, um indicador climático fora da faixa ideal;

Inaptidão: condições climáticas incompatíveis com o desenvolvimento adequado da cultura.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Wollmann e Galvani (2013) destacam que as características hídricas e climáticas locais são determinantes no zoneamento agroclimático, influenciando diretamente a viabilidade e a rentabilidade das culturas agrícolas. É justamente essa interação de fatores que define a aptidão de uma determinada região para o cultivo de espécies vegetais.

A região Nordeste do Brasil apresenta elevada variabilidade nas condições meteorológicas, sendo a sazonalidade da precipitação o principal fator de oscilação climática. Essa variabilidade está associada à posição geográfica, à orografia, aos sistemas atmosféricos de diferentes escalas e às alterações nos padrões de pressão e temperatura (Oliveira et al., 2017; Santos et al., 2023).

A palma forrageira, adaptada ao Semiárido, encontra na região condições particularmente propícias para sua sobrevivência. Os dados do balanço hídrico (BH), calculado para uma capacidade de campo de 100 mm entre 2010 e 2023, apontaram uma temperatura média anual de 25,6 °C, com valores mensais variando entre 23,4 °C (julho) e 27,0 °C (dezembro). A precipitação anual totalizou 382,9 mm, com extremos mensais de 4,9 mm (setembro) a 59,7 mm (março).

Tabela 3. Elementos do balanço hídrico entre 2010 - 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

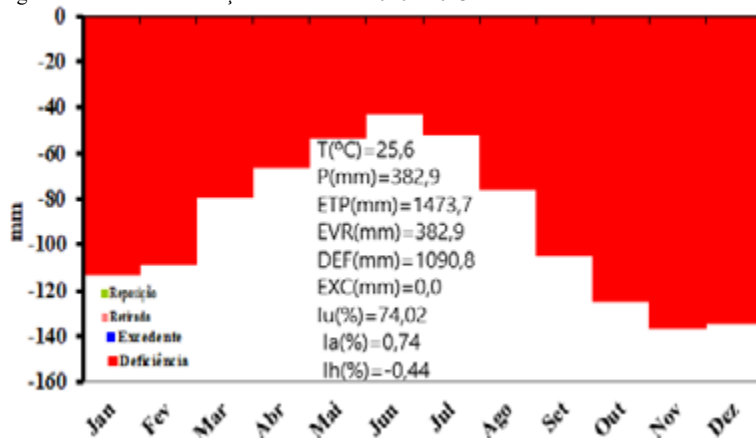
Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,8	32,7	146,0	32,7	113,3	0,0
Fevereiro	26,6	23,2	131,4	23,2	108,2	0,0
Março	26,3	59,7	139,1	59,7	79,4	0,0
Abril	25,9	58,7	124,7	58,7	66,0	0,0
Mai	25,0	59,5	112,8	59,5	53,2	0,0
Junho	24,1	51,7	94,0	51,7	42,3	0,0
Julho	23,4	36,8	88,6	36,8	51,8	0,0
Agosto	23,9	19,3	95,2	19,3	75,9	0,0
Setembro	25,0	4,9	109,6	4,9	104,6	0,0
Outubro	26,1	8,6	133,5	8,6	124,9	0,0
Novembro	26,8	7,4	143,9	7,4	136,5	0,0
Dezembro	27,0	20,3	154,9	20,3	134,6	0,0
Média/Total	25,6	382,9	1473,7	382,9	1090,8	0,0

Fonte: O autor.

Lima et al. (2024) associam essas oscilações à atuação de sistemas meteorológicos irregulares, bloqueios atmosféricos, movimentos verticais do ar, transporte de umidade, variações na radiação solar e cobertura de nuvens. A evapotranspiração potencial (ETP) anual superou os índices pluviométricos em 84,87%, variando mensalmente entre 88,6 mm (julho) e 154,9 mm (dezembro). A deficiência hídrica anual foi de 1.090,8 mm, sem registro de excedente hídrico, conforme também observado por França e Medeiros (2020), IPCC (2007, 2013, 2014), Marengo e Camargo (2007, 2008) e Marengo et al. (2011).

O balanço hídrico da série (2010–2023), representado na Figura 1, evidenciou deficiências hídricas moderadas a intensas ao longo de todo o ano. Esses padrões reforçam os achados de França et al. (2021) e Medeiros et al. (2022), confirmando a persistência da escassez de água na região.

Figura 1. Extrato do balanço hídrico entre 2010 - 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



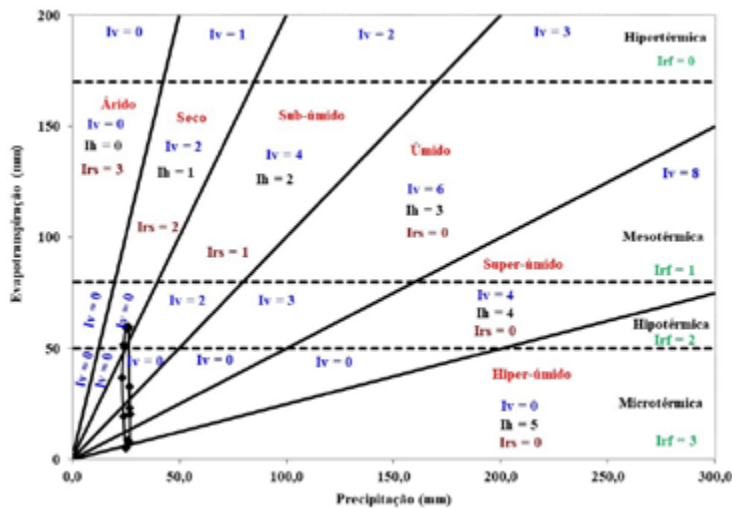
A compreensão climática regional envolve múltiplos fatores como relevo, precipitação, temperatura, solo, umidade do ar, localização geográfica e, em alguns casos, até a influência de correntes oceânicas. Todos esses elementos interagem com a vegetação e afetam diretamente o planejamento agrícola e a escolha de cultivos (Braga et al., 2019; Oliveira, 2023). No Semiárido nordestino, as chuvas tendem a ser esparsas, concentradas em poucos eventos intensos, o que agrava o déficit hídrico e reduz a disponibilidade de água no solo (Medeiros, 2018).

A Figura 2 ilustra a distribuição dos domínios térmicos e hídricos do evapluviograma para o Povoado Ribeira de Cabaceiras, indicando a presença dos tipos climáticos seco, subúmido, úmido e superúmido, com predominância dos dois últimos.

Segundo Toledo et al. (2009), a aptidão agrícola de uma região é fortemente determinada pelo regime térmico, hídrico e pela altimetria local. Esses fatores são essenciais para a sustentabilidade do cultivo, garantindo compatibilidade entre as exigências das culturas e os recursos ambientais disponíveis.

Medeiros (2018) argumenta que os indicadores climáticos permitem a adoção de práticas agrícolas mais realistas e sustentáveis, com potencial de retorno econômico. Nesse sentido, o uso do evapluviograma, que combina informações de precipitação e evapotranspiração em diferentes faixas térmicas e setores hídricos, tem se mostrado uma ferramenta eficaz para caracterizar o clima regional e orientar o zoneamento agroclimático (Alves, 2014).

Figura 2. Distribuição das repartições hídricas e térmicas do evapluviograma do Povoado Ribeira de Cabaceiras entre 2010 – 2023.



Fonte: O Autor.

A Tabela 4 apresenta os resultados extraídos do uso do evapopluviograma, que se alinham com estudos prévios realizados para a região Nordeste (Medeiros et al., 2013; Matos et al., 2014).

Tabela 4. Índices climáticos do Povoado Ribeira de Cabaceiras entre 2010 – 2023.

Índices Climáticos	Iv (%)	Irs (%)	Irf (%)	Cv	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
	16	16	16	444,8	25,6	382,9	1473,7	1090,8	0,0

Fonte: O Autor.

O balanço hídrico climatológico (BHC), conforme demonstrado por Medeiros et al. (2013), quantifica o saldo de água disponível no solo, considerando a entrada (chuva ou irrigação) e a saída (ETP), sendo fundamental para determinar a aptidão de uma cultura frente às condições hídricas da região.

CONCLUSÃO

A análise dos componentes do balanço hídrico possibilitou uma compreensão abrangente da realidade climática do Povoado Ribeira de Cabaceiras, especialmente no que tange à disponibilidade hídrica e à viabilidade da cultura da palma forrageira. A compatibilidade entre os índices climáticos e as exigências fisiológicas da cultura indica boa adaptação às condições locais.

As variáveis hídricas e térmicas demonstraram que a palma forrageira é uma opção viável para cultivo no regime de sequeiro da região, com destaque para sua capacidade de adaptação em ambientes com deficiência hídrica significativa. Contudo, a principal limitação para o cultivo da espécie não está no clima, mas sim nas características físicas dos solos predominantes, que devem ser considerados no planejamento agrícola.

Este estudo fornece subsídios técnicos relevantes para agricultores, extensionistas e gestores públicos, apoiando decisões estratégicas por meio do zoneamento agroclimático e da classificação da aptidão climática. Essas informações são essenciais para minimizar os riscos da atividade agropecuária em ambientes semiáridos.

Sugere-se o cultivo da palma forrageira tanto como alternativa alimentar para os rebanhos, especialmente durante períodos de seca, quanto como fonte de renda por meio da comercialização de seus frutos no mercado interno e externo.

REFERÊNCIAS

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2023.
- ALVES, W. S. **As interações espaciais e o clima urbano de Iporá-GO**. 122 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) UFG/CAJ, Jataí-GO. 2014.
- ARAÚJO, L. F.; OLIVEIRA, L. S. C. Equilíbrio higroscópico da palma forrageira: Relação com a umidade ótima para fermentação sólida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.9. n 3. P.379-384. 2005.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.831-839, 2004.
- BEZERRA, B. G.; ARAÚJO, J. S.; PEREIRA, D. D.; LAURENTINO, G. Q.; SILVA, L. L. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 755-761, 2014.
- BRAGA, S. E.; FRANÇA, M. V. de; ROLIM NETO, F. C.; MEDEIROS, R. M. VARIABILIDADE DECADEAL DA PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA MÍNIMA DO AR EM SÃO BENTO DO UNA - PE, BRASIL. In: Giovanni Seabra. (Org.). **Terra - Mudanças Climáticas e Biodiversidade**. 1ed.Ituiutaba-MG: Barlavento, 2019, v. p. 725-739.
- 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**, 10. p.140-147. 2006.
- FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática do sorgo como suporte alimentar a avicultura de São Bento Una-Pernambuco, Brasil. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 4, p. 275-283, 2020.
- FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; SABOYA, L. M. F.; ARAUJO, W. R.; ROLIM NETO, F. C.; PEREIRA, M. L. F.; BRAGA, S. E. Balanço hídrico sequencial e sua respectiva erosão pluvial no município de Amparo de São Francisco – SE. **Revista Recima** 21, v. 2, p. e24243, 2021.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Summary for policymakers In: Climate Change 2014: **Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA) ed C B Field et al. (Cambridge University Press) pp 1–32
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part B: Regional Aspects. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers, in Climate Change 2007: **Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. edited by M. 2007.
- LIMA, M. G. M.; MEDEIROS, R. M.; SABOYA, L. M.F. Oscilações quinquenal do balanço hídrico no povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**. 2024.
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. ISBN 978-85-64265-01-1. INSA. Pag. 303 – 422. Campina Grande - PB. 2011.
- HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. G. Trends in Extreme air temperatures in Southern Brazil, **International Journal Climatology**, v.28, p. 893-904. 2007.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C.C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960 - 2002. **International Journal of Climatology**. v.28, p.893-904. 2008.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R.; SAULO, C.; NICOLINI, M. Climatology of the low-level Jet East of the Andes as Derived from NCEP-NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. **Journal of Climate**, v. 17, n. 12, p. 2261 - 2280, 2004.

MATOS, R. M.; SILVA, J. A. S.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática para a cultura do feijão caupi do município de Barbalha - CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n.6, p.422-431, 2014.

MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; BORGES, V. E.; MEDEIROS, R. M.; Zoneamento agroclimático da palma forrageira para o município de Barbalha- CE. **Revista ESPACIOS**. ISSN 0798 1015 Vol. 38 (Nº 23) Año 2017.

MEDEIROS, R. M. **Estudo agrometeorológico para o Estado da Paraíba**. Distribuição avulsa, p.165. 2018.

MEDEIROS, R. M.; AZEVEDO, P. V.; SABOYA, L. M. F. Classificação climática e zoneamento agroclimático para o município de Amarante-PI. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, n.2, p.170-180, 2013.

MEDEIROS, R. M.; FRANÇA, M. V.; SABOYA, L. M. F.; HOLANDA, R. M.; WAGNER, R. B.; BRAGA, S. E. Balanço hídrico e seus comparativos com 1996-2005, 2006-2015 em relação a 2015 no município de São Bento do Una - PE. **E-Acadêmica**, 3, e7532226. 2022.

MOURA, M. S. B.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, T. G. F.; SÁ, I. I. S. **Zoneamento agroclimático da palma forrageira para o estado de Pernambuco**. Petrolina: Embrapa Semiárido 2011. 26p. Documentos 242. 2011.

OLIVEIRA, L. D. **As contribuições da climatologia para prevenção e combate a incêndios florestais no Parque Estadual Serra do Rola Moça**. 2023. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais. 232p. 2023.

OLIVEIRA, P. T.; SANTOS e SILVA, C. M.; LIMA, K. C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, 130, 77–90. 2017.

PINTO, S. A.; ASSAD, E. D.; ZULLO JÚNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. **Variabilidade climática**. In: HAMADA, E. (Ed.). Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, Cap. CDROM. 2011.

REYES-AGUERO. Avaliação da irrigação por aspersão: Influência do clima na uniformidade e eficiência. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.14, n.1/2, p.123-136, 2006.

SANTOS, A. S.; GOMES, H. B.; AMORIM, R. F. C.; AMORIM, R. C. F.; PONTES, E. G. S.; MEDEIROS, F. C. Estudo da Climatologia dos Ventos Através dos Dados de Reanálises: Período 1970-2002, e Sua Relação com a Precipitação para o Estado de Alagoas nos Anos 1992/94. In: **XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2001, Fortaleza - CE. Meteorologia e o Desenvolvimento Sustentável, 2001.

SANTOS, D. C.; SANTOS, C. A. G.; BRASIL NETO, R. M.; SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. C. Precipitation variability using GPCP data and its relationship with atmospheric teleconnections in Northeast Brazil. **Climate Dynamics**, 2023.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; SOARES, J. M.; CARMO, J. F. A.; BRANDÃO, E. O. Indicadores climáticos para o zoneamento agrícola da palma forrageira (*Opuntia* sp.). In: **Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido**, 3, 2008, Petrolina. Anais...Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2008. p.23-28. Documentos 210. 2008.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFRRPE. 2026.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review** **38**, 55-94. 10.2307/210739. 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publication in Climatology**, n.8, Laboratory of Climatology, Centerton, N. J. 1955.

TOLEDO, J. V.; MARTINS, L. D.; KLIPPEL, V. H.; PEZZOPANE, J. E. M.; TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T. Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão manso (*Jatropha Curcas* L.) e da mamona (*Ricinus Communis* L.) no estado do Espírito Santo. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 05, p. 41-51, 2009.

WOLLMANN, C.A.; GALVANI, E. Zoneamento agroclimático: linhas de pesquisa e caracterização teórica-conceitual. **Sociedade e Natureza**, v. 25, p. 179-190, 2013.

Capítulo 5 - A CULTIVAR PALMA FORRAGEIRA COMO FONTE DE ALIMENTO, FRUTICULTURA E PLANTA ORNAMENTAL NO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRASIL

Salatíel Ewen Braga
Moacyr Cunha Filho
Ana Karolina Peres de Melo Silva
Romildo Morant de Holanda
Raimundo Mainar de Medeiros

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar a aptidão climática e realizar o zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia* sp.) no Povoado Ribeira de Cabaceiras – PB, considerando seus múltiplos usos: como fonte alimentar, planta ornamental e cultivo frutífero. Para isso, foram analisados dois cenários climáticos, otimista (A_2) e pessimista (B_2), com base em indicadores compatíveis com as exigências fisiológicas da cultura. Os dados pluviométricos mensais do período de 2010 a 2023 foram interpolados pelo método da Média Ponderada pelo Inverso da Distância ao Quadrado, utilizando informações de estações meteorológicas de municípios vizinhos. As temperaturas médias do ar foram estimadas por meio do software *Estima_T*, que aplica um modelo empírico quadrático em função da latitude, longitude e altitude. O balanço hídrico climatológico foi calculado segundo a metodologia de Thornthwaite, e a classificação de aptidão climática seguiu os critérios estabelecidos por Moura. Os resultados indicaram boa adaptação da palma às condições hídricas e térmicas da região, embora as características dos solos locais representem uma limitação ao pleno desenvolvimento da cultura. Destaca-se, ainda, que a expansão do cultivo pode favorecer o surgimento de problemas fitossanitários, especialmente de origem fúngica. Medidas preventivas, como o uso de raquetes sadias e o manejo adequado do solo, são essenciais para garantir a sanidade dos plantios. O estudo fornece subsídios técnicos relevantes para o planejamento agrícola regional e para a mitigação dos riscos climáticos associados à atividade agropecuária no Semiárido.

Palavras-chave: Multifuncionalidade agrícola, Zoneamento climático, Fitossanidade, Adaptação térmica, Gestão hídrica.

FORAGE CACTUS CULTIVAR AS A SOURCE OF FOOD, FRUIT PRODUCTION, AND ORNAMENTAL PLANT IN RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRAZIL

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the climatic suitability and conduct the agroclimatic zoning of forage cactus (*Opuntia* sp.) in the village of Ribeira de Cabaceiras – PB, considering its multiple uses: as a food source, ornamental plant, and fruit crop. Two climate scenarios were analyzed optimistic (A_2) and pessimistic (B_2) based on indicators compatible with the physiological requirements of the crop. Monthly rainfall data from 2010 to 2023 were interpolated using the Inverse Distance Weighted (IDW) method, utilizing information from meteorological stations in neighboring municipalities. Average air temperatures

were estimated using the Estima_T software, which applies a quadratic empirical model based on latitude, longitude, and altitude. The climatological water balance was calculated following Thornthwaite's methodology, and climatic suitability was classified according to criteria established by Moura et al. The results indicated good adaptation of the cactus to the region's water and thermal conditions, although local soil characteristics pose a limitation to the crop's full development. Furthermore, the expansion of cultivation may increase the risk of phytosanitary problems, particularly of fungal origin. Preventive measures, such as using healthy cladodes and proper soil management, are essential to ensure crop health. The study provides relevant technical support for regional agricultural planning and for mitigating climate-related risks associated with farming activities in the semi-arid region.

Keywords: Agricultural multifunctionality, Climate zoning, Plant health, Thermal adaptation, Water management.

INTRODUÇÃO

O crescimento contínuo da população mundial exige sistemas agrícolas mais eficientes e resilientes, especialmente nos setores frutícola e avícola, que têm apresentado rápido avanço e elevado nível de intensificação produtiva (Kheiralipour et al., 2024; Tainika et al., 2023). Nesse contexto, a palma forrageira (*Opuntia* sp.), planta rústica da família Cactaceae, tem se destacado por sua versatilidade e capacidade de adaptação a regiões de baixa pluviosidade. Sua rusticidade e multifuncionalidade a tornam adequada não apenas para a produção de forragem, mas também como fonte alimentar humana e planta ornamental (Reyes-Agüero et al., 2006).

No Semiárido brasileiro, onde predominam longos períodos de estiagem, a palma forrageira consolidou-se como uma das principais alternativas para alimentação animal, substituindo gramíneas e leguminosas que apresentam maior exigência hídrica e menor resistência ao estresse climático (Bezerra et al., 2014). No entanto, as condições climáticas e edáficas ainda representam desafios ao pleno desenvolvimento da cultura. Estudos como o de Matos et al. (2017) apontaram aptidão restrita para o cultivo da palma em determinados municípios do Nordeste, a exemplo de Barbalha – CE, devido às limitações climáticas e hídricas locais.

Além das variáveis meteorológicas, o tipo de solo exerce influência decisiva sobre a viabilidade do cultivo. Embora a palma possa se desenvolver em solos com textura variando de arenosa a argilosa, há preferência por solos argilo-arenosos, férteis e bem drenados, sendo inadequadas as áreas sujeitas ao encharcamento (Santos et al., 2006).

Diante do exposto, este capítulo tem como objetivo avaliar a aptidão climática e realizar o zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia* sp.) no Povoado Ribeira de Cabaceiras, considerando seus diferentes usos – alimentar, ornamental e frutífero. Para isso, foram considerados cenários climáticos contrastantes (A₂ - otimista e B₂ - pessimista), com base em indicadores compatíveis com as exigências da cultura.

METODOLOGIA

Segundo Moura et al. (2011), o zoneamento agroclimático é fundamental para o planejamento agrícola e a tomada de decisões quanto ao uso racional do solo, visando o aproveitamento do potencial produtivo de uma região. Para a cultura da palma forrageira (*Opuntia* sp.), os autores recomendam os seguintes parâmetros climáticos: temperatura

média entre 16,1 °C e 25,4 °C, com máximas variando entre 28,5 °C e 31,5 °C, mínimas entre 8,6 °C e 20,4 °C, e amplitude térmica entre 10,0 °C e 17,2 °C. A precipitação anual deve situar-se entre 368,4 mm e 812,4 mm, sendo a exigência mínima da cultura de 200 mm. A variabilidade da umidade anual deve oscilar entre -63,1% e -37,3%.

Os dados mensais de precipitação (2010–2023) foram obtidos de estações meteorológicas dos municípios vizinhos a Ribeira de Cabaceiras (São João do Cariri, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel, Boqueirão e Boa Vista), fornecidos pela AESA (2023), e interpolados por meio do método da Média Ponderada pelo Inverso da Distância ao Quadrado.

As temperaturas médias do ar foram estimadas utilizando o software Estima_T, que aplica um modelo empírico de superfície quadrática baseado nas coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude), conforme Cavalcanti et al. (2006). A partir dos dados estimados, foram calculadas as médias mensais e anuais por meio de planilha eletrônica.

$$T = C_0 + C_1\lambda + C_2\varnothing + C_3h + C_4\lambda_2 + C_5\varnothing_2 + C_6h_2 + C_7\lambda\varnothing + C_8\lambda h + C_9\varnothing h \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

$C_0, C_1, \dots, C_9$: são as constantes;

$\lambda, \lambda_2, \lambda\varnothing, \lambda h$: longitude;

$\varnothing, \varnothing_2, \lambda\varnothing$: latitude;

$h, h_2, \lambda h, \varnothing h$: altitude.

O balanço hídrico climatológico (BH) foi determinado pela metodologia proposta por Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955), por meio de planilha desenvolvida por Medeiros (2018), considerando uma capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) de 100 mm. Essa planilha computa as entradas (precipitação) e saídas (evapotranspiração) de umidade no solo, possibilitando o cálculo do Excedente Hídrico (EXC) e da Deficiência Hídrica (DEF). A evapotranspiração potencial (ETp) foi estimada por meio da equação padrão de Thornthwaite.

$$ETp = Fc \cdot 16 \cdot \left(10 \frac{T}{I} \right)^a \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que:

ETp: Evapotranspiração potencial anual (mm ano⁻¹);

Fc: Fator de correção, segundo a Tabela 1;

T: Temperatura média mensal (°C);

I: Índice anual de calor, correspondente a soma dos doze índices mensais; e

a: Função cúbica do índice anual de calor dada por:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 0,01791 \cdot I + 0,492.$$

Tabela 1. Fator de correção (Fc) em função dos dados mensais.

Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Fator	1,80	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10

Fonte: Adaptado de Thornthwaite (1948).

Na determinação da aptidão climática para a cultura da palma forrageira (*Opuntia* sp.), utilizou-se dos indicadores climáticos sugeridos por Souza et al. (2008) e expostos

na Tabela 2. Essas faixas foram utilizadas no estudo do zoneamento agroclimático da palma forrageira para o estado de Pernambuco por Moura et al. (2011) e por Bezerra et al. (2014) e também em estudo sobre o zoneamento agroclimático da palma forrageira para o estado da Paraíba.

A partir do BH, foram calculados os índices climáticos: índice de aridez (Ia), índice de umidade (Iu) e índice hídrico (Ih), que são fundamentais para a caracterização do clima da região e avaliação da aptidão das culturas, conforme a metodologia de Thornthwaite (1948).

O Ia caracteriza-se por indicar a deficiência hídrica expressa em percentagem da evapotranspiração potencial (necessidade). É definido em função da deficiência e evapotranspiração potencial (ambas anuais), expresso da seguinte forma:

$$Ia = 100 \frac{\sum DEF}{\sum ETp} \quad \text{Eq. (3)}$$

O Iu representa o excesso hídrico expresso em percentagem da necessidade que é representada pela evapotranspiração potencial, ambas anuais, pela expressão:

$$Ih = 100 \frac{\sum EXE}{\sum ETp} \quad \text{Eq. (4)}$$

Geralmente tem-se durante o ano estações de excesso e falta de água. Por isso, define-se o índice hídrico da seguinte maneira:

$$Iu = Ih - 0,6 \cdot Ia \quad \text{Eq. (5)}$$

Em que:

Ia: Índice de aridez (%);

Ih: Índice hídrico (%);

Iu: Índice de umidade (%);

$\sum DEF$: Somatório da deficiência hídrica anual (mm ano^{-1});

$\sum EXE$: Somatório do excedente hídrico anual (mm ano^{-1}); e

$\sum ETp$: Somatório da evapotranspiração anual (mm ano^{-1}).

Os valores dos indicadores climáticos para o Povoado Ribeira de Cabaceiras, Brasil foram aplicados segundo os critérios da Tabela 2, para determinação da aptidão climática, classificando a cultura da palma forrageira em: aptidão plena, aptidão restrita e aptidão inaptidão.

Para a análise de aptidão e zoneamento agroclimático, adotaram-se os critérios de classificação descritos por Moura et al. (2011) e referenciados por Bezerra et al. (2014). Considera-se como aptidão plena quando a região apresenta condições climáticas adequadas ao desenvolvimento da cultura, sem restrições ao seu crescimento. A aptidão restrita ocorre quando o cultivo da palma forrageira é limitado por, pelo menos, um dos indicadores climáticos avaliados. Já a inaptidão é atribuída às regiões cujos indicadores climáticos estão fora das faixas consideradas adequadas ao desenvolvimento da cultura.

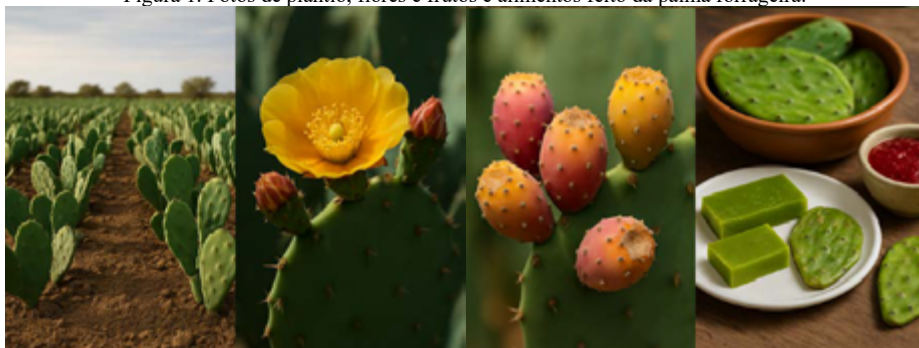
Tabela 2. Aptidão e indicadores climáticos da cultura da palma forrageira.

Indicador Climático	Plena	Restrita	Inaptidão
Temperatura média (°C)	$16,1 \leq T_{\text{méd}} \leq 25,4$	$T_{\text{méd}} < 16,1$ ou $T_{\text{méd}} > 25,4$	–
Temperatura máxima (°C)	$28,5 \leq T_{\text{máx}} \leq 31,5$	$T_{\text{máx}} < 28,5$ ou $T_{\text{máx}} > 31,5$	–
Temperatura mínima (°C)	$8,6 \leq T_{\text{mín}} \leq 20,4$	$T_{\text{mín}} < 8,6$ ou $T_{\text{mín}} > 20,4$	–
Amplitude térmica (°C)	$10,0 \leq \text{AMT} \leq 17,2$	$\text{AMT} < 10,0$ ou $\text{AMT} > 17,2$	–
Precipitação anual (mm)	$368,4 \leq \text{Prec} \leq 812,4$	$\text{Prec} < 368,4$ ou $812,4 < \text{Prec} \leq 1089,9$	$\text{Prec} > 1089,9$
Índice de umidade (Iu)	$-65,6 \leq \text{Iu} \leq -31,8$	$-31,8 < \text{Iu} \leq 7,7$ ou $\text{Iu} < -65,6$	$\text{Iu} > 7,7$

Legenda: T_{méd}=Temperatura média; T_{máx}=Temperatura máxima; T_{mín}=Temperatura mínima; AMT=Amplitude térmica; Prec =Precipitação anual; Iu=Índice de umidade; I=Inaptidão.

Fonte: Adaptado de Souza et al. (2008).

Figura 1. Fotos de plantio, flores e frutos e alimentos feito da palma forrageira.



Fonte: Open IA (2025).

RESULTADO E DISCUSSÃO

A palma forrageira destaca-se como uma cultura estratégica para a região Nordeste do Brasil, especialmente por sua adaptabilidade ao semiárido e múltiplas funcionalidades: forrageira, frutífera e ornamental. A escolha por seu cultivo está relacionada a fatores ambientais, como a necessidade de preservar a biodiversidade da caatinga e garantir alternativas alimentares para a pecuária, além de fatores econômicos e sociais, como a segurança alimentar e o enfrentamento dos efeitos das mudanças climáticas.

Segundo Wollmann e Galvani (2013), as condições hídricas e climáticas locais são determinantes para o zoneamento agroclimático, influenciando diretamente na viabilidade econômica das culturas. Tais parâmetros orientam a definição da aptidão de uma determinada região ao cultivo de espécies agrícolas.

A região Nordeste do Brasil apresenta alta variabilidade meteorológica, sendo a sazonalidade das chuvas um dos principais fatores climáticos. Essa variabilidade é influenciada por fatores como localização geográfica, relevo, sistemas atmosféricos de

diferentes escalas e variações de temperatura e pressão (Oliveira et al., 2017; Santos et al., 2023).

Os dados do Balanço Hídrico (BH) para o período de 2010 a 2023, considerando uma Capacidade de Água Disponível (CAD) de 100 mm, revelaram uma temperatura média anual de 25,6 °C, com mínimas mensais de 23,4 °C (julho) e máximas de 27,0 °C (dezembro). A precipitação anual totalizou 382,9 mm, variando de 4,9 mm (setembro) a 59,7 mm (março). Segundo Lima et al. (2024), essa oscilação é causada por sistemas de bloqueio atmosférico, transporte de umidade, movimentos verticais do ar e cobertura de nuvens. A evapotranspiração potencial (ETP) superou a precipitação em 84,87%, oscilando entre 88,6 mm (julho) e 154,9 mm (dezembro), evidenciando déficit hídrico em praticamente todos os meses do ano.

A deficiência hídrica anual foi de 1.090,8 mm, sem registro de excedente hídrico no período analisado. Resultados semelhantes são relatados por França e Medeiros (2020), IPCC (2013, 2014), Marengo e Camargo (2007, 2008), Marengo et al. (2011) e Medeiros (2018), reforçando a recorrência de escassez hídrica no semiárido nordestino.

Tabela 3. Elementos do balanço hídrico entre 2010 - 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

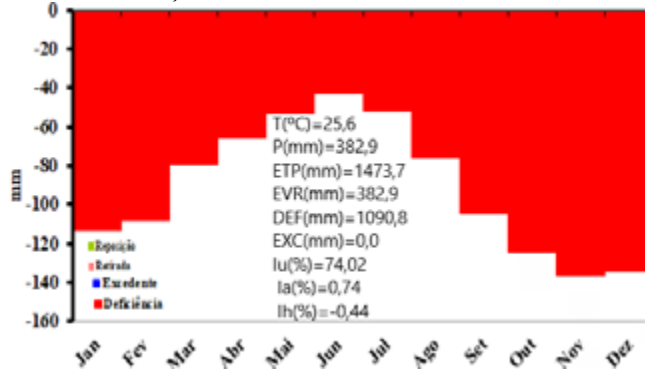
Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,8	32,7	146,0	32,7	113,3	0,0
Fevereiro	26,6	23,2	131,4	23,2	108,2	0,0
Março	26,3	59,7	139,1	59,7	79,4	0,0
Abril	25,9	58,7	124,7	58,7	66,0	0,0
Maiο	25,0	59,5	112,8	59,5	53,2	0,0
Junho	24,1	51,7	94,0	51,7	42,3	0,0
Julho	23,4	36,8	88,6	36,8	51,8	0,0
Agosto	23,9	19,3	95,2	19,3	75,9	0,0
Setembro	25,0	4,9	109,6	4,9	104,6	0,0
Outubro	26,1	8,6	133,5	8,6	124,9	0,0
Novembro	26,8	7,4	143,9	7,4	136,5	0,0
Dezembro	27,0	20,3	154,9	20,3	134,6	0,0
Média/Total	25,6	382,9	1473,7	382,9	1090,8	0,0

Fonte: O autor.

A Figura 2 apresenta o extrato do BH com CAD de 100 mm, no qual se constata deficiências hídricas moderadas a severas durante todo o ano. França et al. (2021) e Medeiros et al. (2022) também observaram padrões semelhantes para outras áreas do semiárido.

O clima local resulta da interação entre fatores físicos (relevo, precipitação, temperatura, solo) e biológicos (vegetação), que juntos moldam os processos ecológicos e agrícolas (Braga et al., 2019). A temperatura influencia diretamente os ciclos fenológicos das plantas (Oliveira, 2023), sendo, portanto, essencial no planejamento agrícola (França e Medeiros, 2020). No semiárido, as chuvas ocorrem de forma esparsa, rápida e intensa, com pouca geração de escoamento superficial, exigindo um entendimento detalhado dos sistemas atmosféricos que atuam em múltiplas escalas (Medeiros, 2018).

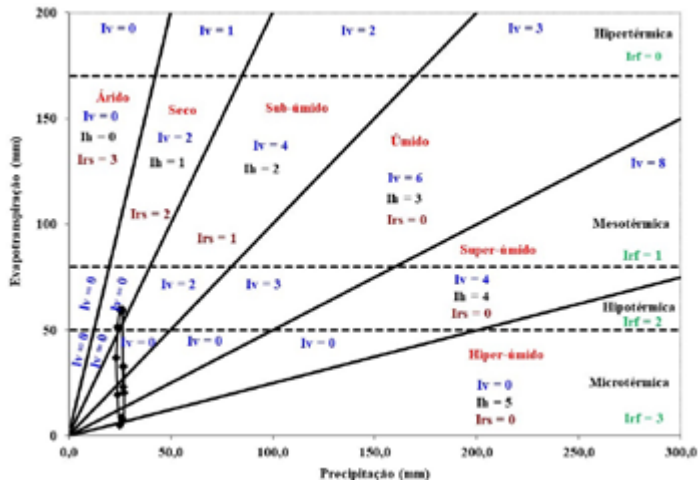
Figura 2. Extrato do balanço hídrico entre 2010 - 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

A Figura 3 apresenta o domínio climático da região a partir do evapopluviograma (CAD 100 mm), que indica a predominância dos climas subúmido e úmido, além da presença do clima mesotérmico. A Tabela 4 detalha os índices climáticos, que são compatíveis com outros estudos realizados na região (Medeiros et al., 2013; Matos et al., 2014).

Figura 3. Distribuição das repartições hídricas e térmicas do evapopluviograma do Povoado Ribeira de Cabaceiras entre 2010 - 2023.



Fonte: O Autor.

Na Tabela 4, estão os resultados climáticos expostos pelo uso do evapopluviograma e aplicações em tabelas. Estes índices corroboram com os resultados de estudos efetivados para o nordeste, (Medeiros et al., 2013; Matos et al., 2014).

Tabela 4. Índices climáticos do Povoado Ribeira de Cabaceiras entre 2010 - 2023.

Índices Climáticos	Iv (%)	Irs (%)	Irf (%)	Cv	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
	16	16	16	444,8	25,6	382,9	1473,7	1090,8	0,0

Fonte: O Autor.

Segundo Toledo et al. (2009), o regime pluviométrico, térmico e a altimetria são essenciais para determinar a aptidão agrícola, contribuindo diretamente para práticas sustentáveis. Medeiros (2018) reforça que a análise de indicadores climáticos proporciona maior realismo no planejamento agrícola, enquanto Alves (2014) ressalta a eficácia do evapopluviograma para a caracterização climática e adequação de culturas.

O IPCC (2007) destaca que o semiárido brasileiro será uma das regiões mais vulneráveis às mudanças climáticas, o que pode intensificar a desertificação e comprometer a agricultura. Essa realidade exige ações de mitigação e adaptação urgentes (Moura et al., 2011).

Nas simulações com aumento de 1 °C na temperatura e redução de 10% na precipitação, observou-se temperatura média anual de 26,6 °C e total pluviométrico de 344,6 mm, igualando-se à evaporação. A ETP superou a precipitação em até 150%, e a deficiência hídrica alcançou 1.319,3 mm anuais. A Figura 4 mostra que houve deficiência hídrica em todos os meses. Já a Figura 5 evidencia a predominância dos climas árido, seco e mesotérmico, resultado que se alinha com os estudos de Medeiros (2018).

Tabela 5. Elementos do balanço hídrico, com a CAD de 100 mm e acréscimo de 1°C na temperatura e redução pluvial de 10%, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

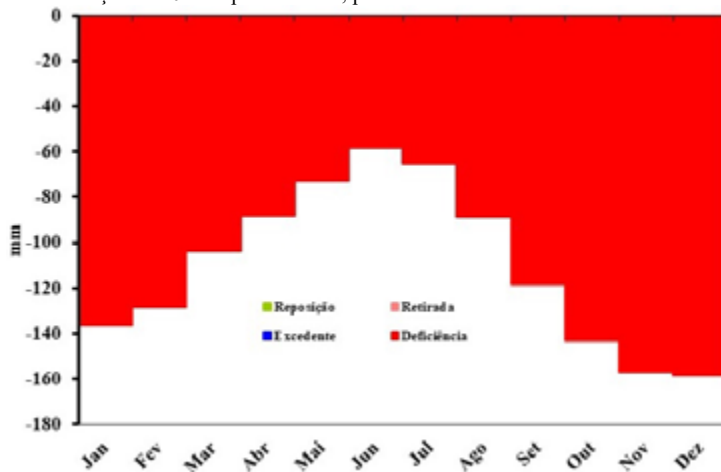
Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	27,8	29,4	166,1	29,4	136,7	0,0
Fevereiro	27,6	20,8	149,2	20,8	128,3	0,0
Março	27,3	53,7	157,7	53,7	104,0	0,0
Abril	26,9	52,8	140,9	52,8	88,1	0,0
Mai	26,0	53,6	126,6	53,6	73,0	0,0
Junho	25,1	46,5	104,8	46,5	58,3	0,0
Julho	24,4	33,1	98,3	33,1	65,2	0,0
Agosto	24,9	17,4	106,0	17,4	88,6	0,0
Setembro	26,0	4,4	123,0	4,4	118,6	0,0
Outubro	27,1	7,8	151,1	7,8	143,3	0,0
Novembro	27,8	6,7	163,7	6,7	157,0	0,0
Dezembro	28,0	18,3	176,5	18,3	158,2	0,0
Ano	26,6	344,6	1663,9	344,6	1319,3	0,0

Fonte: O Autor.

A água é essencial para o desenvolvimento das culturas, a sua falta ou excesso pode influenciar na produção agrícola de determinada localidade ou de uma região. Conforme Medeiros et al. (2013), a técnica do BHC fornece o saldo de água disponível no solo para o vegetal, ou seja, contabiliza a entrada (precipitação e ou irrigação) e saída (evapotranspiração potencial), considerando determinada capacidade de armazenamento de água pelo solo.

Na Figura 4, observam-se o extrato do balanço hídrico com a CAD de 100 mm e com acréscimo de 1°C na temperatura e redução de 10% na pluviometria, para o Povoado Ribeira de Cabaceiras, onde se registrou deficiências hídricas forte em todos os meses.

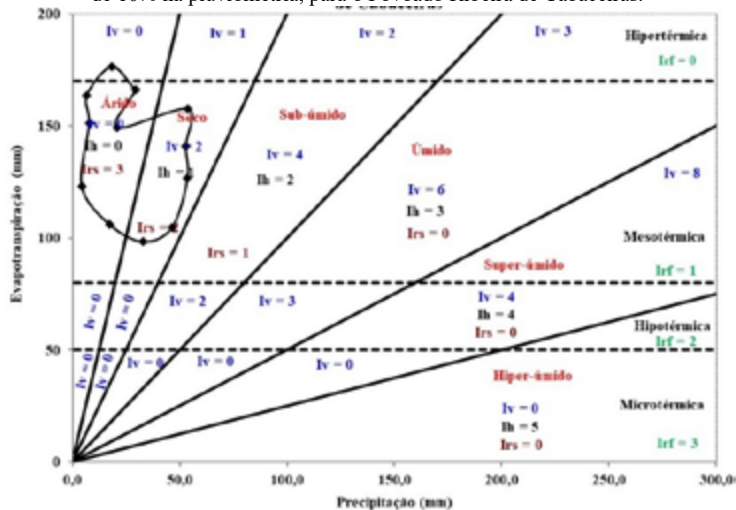
Figura 4. Extrato do balanço hídrico com a CAD de 100 mm e com acréscimo de 1°C na temperatura e redução de 10% na pluviosimetria, para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Os climas predominantes são áridos, seco e mesotérmico, estabelecidos na Figura 5, através do evapopluviograma com a CAD de 100 mm e com acréscimo de 1°C na temperatura e redução de 10% na pluviosimetria, para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Figura 5. Evapopluviograma com a CAD de 100 mm e com acréscimo de 1°C na temperatura e redução de 10% na pluviosimetria, para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Na Tabela 6, estão os resultados climáticos com a CAD de 100 mm e acréscimo de 1°C na temperatura e redução pluvial de 10%, expostos pelo uso do evapopluviograma e aplicações em tabelas. Estes índices corroboram com os resultados de estudos efetivados para o nordeste (Medeiros et al., 2013; Matos et al., 2014).

A área semiárida nordestina registra ocorrência pluviiais escassas, irregulares, com secas frequentes, e com eventos intensos e rápida duração, desprovidos de volumes de escoamento de água dos rios, situação que explica a função da variabilidade temporal pluviométrica e das características dos sistemas meteorológicos global, regional e local predominantes na região (Medeiros, 2018).

Tabela 6. Índices climáticos com a CAD de 100 mm e acréscimo de 1°C na temperatura e redução pluvial de 10%, do Povoado Ribeira de Cabaceiras entre 2010 – 2023.

Índices Climáticos	Iv	Irs	Irf	Cv (%)	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
	2	2	–	506,3	26,6	344,6	1663,9	1319,3	0,0

Fonte: O Autor.

Com a CAD de 100 mm, acréscimo de 4°C na temperatura e redução pluvial de 20%, o resultado do balanço hídrico anual forneceu as seguintes informações: Temperatura de 29,6°C; precipitação total de 306,3 mm, este valor foi igual ao registrado na evaporação; ETP anual totalizou 2586,5 mm, as deficiências e excedentes hídrico foram de 2280,2 mm e 0,0 mm respectivamente, estas variabilidades foram detectadas por diversos estudos realizados na região semiárida brasileira.

Tabela 7. Elementos do balanço hídrico, com a CAD de 100 mm e acréscimo de 4°C na temperatura e redução pluvial de 20%, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

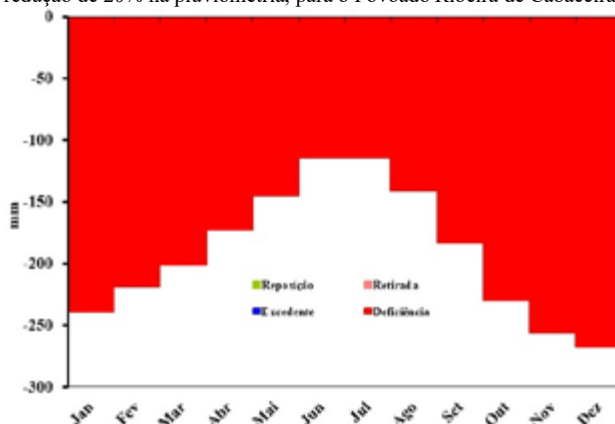
Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	30,8	26,2	265,5	26,2	239,3	0,0
Fevereiro	30,6	18,5	237,0	18,5	218,4	0,0
Março	30,3	47,7	248,8	47,7	201,1	0,0
Abril	29,9	46,9	219,6	46,9	172,7	0,0
Mai	29,0	47,6	192,6	47,6	145,0	0,0
Junho	28,1	41,3	155,0	41,3	113,7	0,0
Julho	27,4	29,4	142,9	29,4	113,5	0,0
Agosto	27,9	15,4	156,0	15,4	140,6	0,0
Setembro	29,0	4,0	186,9	4,0	183,0	0,0
Outubro	30,1	6,9	236,7	6,9	229,8	0,0
Novembro	30,8	5,9	261,5	5,9	255,6	0,0
Dezembro	31,0	16,3	283,9	16,3	267,6	0,0
Ano	29,6	306,3	2586,5	306,3	2280,2	0,0

Fonte: O Autor.

O extrato do balanço hídrico com a CAD de 100 mm e com acréscimo de 4°C na temperatura e redução de 20% na pluviometria, para o Povoado Ribeira de Cabaceiras (Figura 6) nos demonstram a predominância de eficiências hídricas forte em todo o estudo. Tais variabilidades vem a corroborar com as afirmações do IPCC (2023) e Marengo et al. (2023).

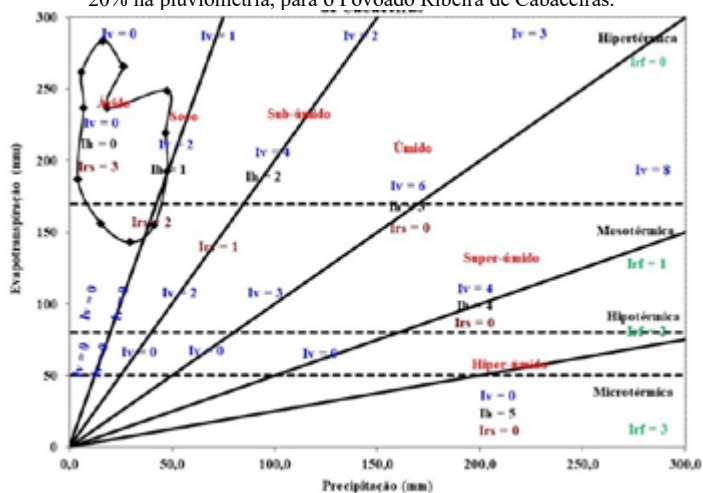
Em três meses registra-se clima mesotérmico, e a predominância do clima hipotérmico registra-se em nove meses (Figura 7), para a CAD de 100 mm, com acréscimo de 4°C na temperatura e redução de 20% na pluviometria, para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Figura 6. Extrato do balanço hídrico com a CAD de 100 mm e com acréscimo de 4°C na temperatura e redução de 20% na pluviometria, para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Figura 7. Evapopluviograma com a CAD de 100 mm, com acréscimo de 4°C na temperatura e redução de 20% na pluviometria, para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Na Tabela 8, estão os resultados climáticos com a CAD de 100 mm e acréscimo de 4°C na temperatura e redução pluvial de 20%, expostos pelo uso do evapopluviograma e aplicações em tabelas. Estes índices corroboram com os resultados de estudos efetivados para o nordeste (Medeiros et al. 2013; Matos et al., 2014).

Tabela 8. Índices climáticos com a CAD de 100 mm e acréscimo de 4°C na temperatura e redução pluvial de 20%, do Povoado Ribeira de Cabaceiras entre 2010 – 2023.

Índices Climáticos	Iv (%)	Irs (%)	Irf (%)	Cv (%)	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
	2	2	–	710,9	29,6	306,3	2586,5	2280,2	0,0

Fonte: O Autor.

CONCLUSÃO

A análise dos componentes do balanço hídrico climatológico permitiu uma compreensão aprofundada da realidade climática do Povoado Ribeira de Cabaceiras, fornecendo subsídios essenciais para compatibilizar a disponibilidade de água no solo com as distintas formas de uso da terra. Esse conhecimento é fundamental para minimizar os riscos associados às atividades agropecuárias em regiões semiáridas.

As atividades fisiológicas da palma forrageira demonstraram boa adaptação às condições hídricas e térmicas locais, evidenciando seu potencial produtivo mesmo diante das limitações impostas pelo clima e, principalmente, pelo tipo de solo predominante.

Os resultados obtidos oferecem suporte técnico valioso para gestores públicos, produtores rurais e demais tomadores de decisão, por meio das informações sobre o balanço hídrico, a classificação climática, o zoneamento agroclimático e a aptidão da cultura. Esses elementos contribuem diretamente para o planejamento agrícola, orientando práticas que reduzam riscos e aumentem a eficiência do uso dos recursos naturais.

As principais limitações identificadas referem-se às características edáficas da região, sobretudo quanto à drenagem e fertilidade dos solos. Apesar disso, o cultivo da palma é recomendado, tanto para a produção de frutos com potencial para comercialização em mercados internos e externos, quanto para uso forrageiro, especialmente em períodos de escassez hídrica.

É importante, contudo, considerar que a expansão da cultura pode acarretar o surgimento de problemas fitossanitários, especialmente de origem fúngica. Assim, recomenda-se o uso de raquetes sadias, o plantio em áreas não infestadas e a eliminação de plantas doentes como medidas preventivas essenciais para garantir a sanidade dos cultivos.

Dada a resistência da palma forrageira às variações pluviométricas e térmicas, conclui-se que o Povoado Ribeira de Cabaceiras apresenta condições favoráveis ao seu cultivo, sendo uma alternativa viável e sustentável para geração de renda e segurança alimentar no contexto do semiárido paraibano.

REFERÊNCIAS

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2023.

ALVES, W. S. **As interações espaciais e o clima urbano de Iporá-GO**. 122 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) UFG/CAJ, Jataí-GO. 2014.

BEZERRA, B. G.; ARAÚJO, J. S.; PEREIRA, D. D.; LAURENTINO, G. Q.; SILVA, L. L. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 755-761, 2014.

BRAGA, S. E.; FRANÇA, M. V. de; ROLIM NETO, F. C.; MEDEIROS, R. M. VARIABILIDADE DECADEAL DA PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA MÍNIMA DO AR EM SÃO BENTO DO UNA - PE, BRASIL. In: Giovanni Seabra. (Org.). **Terra - Mudanças Climáticas e Biodiversidade**. 1ed. Ituiutaba-MG: Barlavento, 2019, v. p. 725-739.

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**, 10. p.140-147. 2006.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática do sorgo como suporte alimentar a avicultura de São Bento Una-Pernambuco, Brasil. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 4, p. 275-283, 2020.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; SABOYA, L. M. F.; ARAUJO, W. R.; ROLIM NETO, F. C.; PEREIRA, M. L. F.; BRAGA, S. E. Balanço hídrico sequencial e sua respectiva erosão pluvial no município de Amparo de São Francisco – SE. **Revista Recima** 21, v. 2, p. e24243, 2021.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part B: Regional Aspects. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for policymakers In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA) ed C B Field et al. (Cambridge University Press) pp 1–32. 2014.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers, in **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. edited by M. 2007.

KHEIRALIPOUR, K.; RAFIEE, S.; KARIMI, M.; NADIMI, M.; PALIWAL, J. The environmental impacts of commercial poultry production systems using life cycle assessment: a review. **World's Poultry Science Journal**, v. 80, n. 1, p.33-54. 2024.

LIMA, M. G. M.; MEDEIROS, R. M.; SABOYA, L. M.F. Oscilações quinquenal do balanço hídrico no povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**. 2024.

MARENGO, J. A.; ALCANTARA, E.; CUNHA, A. P.; SELUCHI, M.; NOBRE, C. A.; DOLIF, G.; GONCALVES, D.; ASSIS DIAS, M.; CUARTAS, L. A.; BENDER, F.; RAMOS, A. M.; MANTOVANI, J. R.; ALVALÁ, R. C.; MORAES, O. L. Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25-28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. **Weather and Climate Extremes**, v. 39, p. 100545, 2023.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. ISBN 978-85-64265-01-1. INSA. Pag. 303 – 422. Campina Grande - PB. 2011.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. G. Trends in Extreme air temperatures in Southern Brazil, **International Journal Climatology**, v.28, p. 893-904. 2007.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C.C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960 - 2002. **International Journal of Climatology**. v.28, p.893-904. 2008.

MATOS, R. M.; SILVA, J. A. S.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática para a cultura do feijão caupi do município de Barbalha - CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n.6, p.422-431, 2014.

MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; BORGES, V. E.; MEDEIROS, R. M.; Zoneamento agroclimático da palma forrageira para o município de Barbalha- CE. **Revista ESPACIOS**. ISSN 0798 1015 Vol. 38 (Nº 23) Año 2017.

MEDEIROS, R. M. **Estudo agrometeorológico para o Estado da Paraíba**. Distribuição avulsa, p.165. 2018.

MEDEIROS, R. M.; AZEVEDO, P. V.; SABOYA, L. M. F. Classificação climática e zoneamento agroclimático para o município de Amarante-PI. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, n.2, p.170-180, 2013.

MEDEIROS, R. M.; FRANÇA, M. V.; SABOYA, L. M. F.; HOLANDA, R. M.; WAGNER, R. B.; BRAGA, S. E. Balanço hídrico e seus comparativos com 1996-2005, 2006-2015 em relação a 2015 no município de São Bento do Una - PE. **E-Acadêmica**, 3, e7532226. 2022.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFRRPE. 2026.

MOURA, M. S. B.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, T. G. F.; SÁ, I. I. S. **Zoneamento agroclimático da palma forrageira para o estado de Pernambuco**. Petrolina: Embrapa Semiárido 2011. 26p. Documentos 242. 2011.

OLIVEIRA, L. D. **As contribuições da climatologia para prevenção e combate a incêndios florestais no Parque Estadual Serra do Rola Moça**. 2023. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais. 232p. 2023.

OLIVEIRA, P. T.; SANTOS e SILVA, C. M.; LIMA, K. C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, 130, 77–90. 2017.

OPENAI. **Imagem gerada por inteligência artificial (ChatGPT)**. [S.l.], 2025. Imagem gerada em 06 maio 2025.

REYES-AGUERO. Avaliação da irrigação por aspersão: Influência do clima na uniformidade e eficiência. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.14, n.1/2, p.123-136, 2006.

SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F. dos; ARRUDA, G. P.; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. **Manejo e utilização da palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco**. Recife: IPA, 48 p. (IPA. Documentos, 30). 2006

SANTOS, D. C.; SANTOS, C. A. G.; BRASIL NETO, R. M.; SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. C. Precipitation variability using GPCC data and its relationship with atmospheric teleconnections in Northeast Brazil. **Climate Dynamics**, 2023.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; SOARES, J. M.; CARMO, J. F. A.; BRANDÃO, E. O. Indicadores climáticos para o zoneamento agrícola da palma forrageira (Opuntia sp.). In: **Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido**, 3, 2008, Petrolina. Anais...Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2008. p.23-28. Documentos 210.

TAINIKA, B.; ŞEKEROĞLU, A.; AKYOL, A.; WAITHAKA NG'ANG'A, Z. Welfare issues in broiler chickens: overview. **World's Poultry Science Journal**, v. 79, n. 2, p.285-329, 2023.

THORNTON, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review** 38, 55-94. 10.2307/210739. 1948.

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publication in Climatology**, n.8, Laboratory of Climatology, Centerton, N. J. 1955.

TOLEDO, J. V.; MARTINS, L. D.; KLIPPEL, V. H.; PEZZOPANE, J. E. M.; TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T. Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão manso (Jatropha Curcas L.) e da mamona (Ricinus Communis L.) no estado do Espírito Santo. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 05, p. 41-51, 2009.

WOLLMANN, C.A.; GALVANI, E. Zoneamento agroclimático: linhas de pesquisa e caracterização teórica-conceitual. **Sociedade e Natureza**, v. 25, p. 179-190, 2013.

Capítulo 6 - A PALMA FORRAGEIRA E SEU USO ALIMENTAR HUMANO PARA O POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRASIL

Ana Karolina Peres de Melo Silva

Salatiel Ewen Braga

Romildo Morant de Holanda

Raimundo Mainar de Medeiros

Naedna Medeiros dos Santos

RESUMO

A região semiárida do Nordeste brasileiro é marcada por forte instabilidade climática, o que limita o desenvolvimento das atividades agropecuárias. Este capítulo tem como objetivo incentivar, divulgar e fornecer informações sobre os benefícios do cultivo e da produção da palma forrageira como alternativa socioeconômica viável para produtores de pequenas propriedades e a agricultura familiar. A proposta central é destacar a palma como fonte alimentar, tanto pelas raquetes quanto pelos frutos, promovendo sua inclusão na merenda escolar e na alimentação da população do Povoado Ribeira de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. A metodologia adotada baseou-se em levantamento bibliográfico de artigos científicos, livros, periódicos, jornais e fontes digitais. Foram evidenciadas as qualidades nutricionais da palma, ressaltando sua importância como um dos vegetais de maior valor nutritivo, com destaque na gastronomia vegetariana. Trata-se de um alimento de baixo custo, acessível às populações de baixa renda, com grande potencial de uso na região semiárida. A palma já é amplamente consumida em diferentes regiões do mundo, sendo reconhecida como mais nutritiva do que diversos vegetais tradicionalmente utilizados na culinária vegetariana. Os fatores que justificam o incentivo ao seu cultivo incluem a preocupação com a conservação da biodiversidade da caatinga, a oferta de alimento para os animais, a viabilidade econômica da atividade pecuária e a necessidade de garantir segurança alimentar diante das mudanças climáticas previstas para as próximas décadas.

Palavras-chave: Segurança alimentar, Agricultura familiar, Nutrição vegetal, Sustentabilidade social, Educação alimentar.

FORAGE CACTUS AND ITS USE AS HUMAN FOOD IN THE VILLAGE OF RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRAZIL

ABSTRACT

The semiarid region of northeastern Brazil is characterized by climate instability, limiting agricultural agility in the area. The objective is to encourage, disseminate and provide information on the benefits of planting, cultivating and producing palm oil, which is an option in the socioeconomic sector for producers of small areas and family farming, the implementation and applications of palm oil, as a food supply through rackets and fruits, which can be implemented in school meals and in the menus of the population of the Ribeira de Cabaceiras Village, Paraíba, Brazil. The methodology was developed through bibliographies in newspapers, periodicals, books, magazines and the Internet, to provide information on the nutritional powers of palm oil, its evidence and seriousness as one of the vegetables with the greatest nutritional powers, standing out in vegetarian cuisine, and being low cost, and without consternation in the budget of the most needy, encouraging

its consumption in the semiarid region of the Northeast. Consumption is already used in several regions of the Globe. Nutritional comparisons involve a vegetable that is more nutritious than those found in vegetarian cuisine, with the advantage of being low-cost and not burdening the budgets of needy populations. The determining factors for encouraging palm cultivation are environmental concerns about preserving the forage biodiversity of the caatinga, offering alternative food for animals; the profitability of livestock farming to ensure food security for populations living in areas marked by climate instability; and the indicators of climate change predicted for the future.

Keywords: Food security, Family farming, Plant-based nutrition, Social sustainability, Food education.

INTRODUÇÃO

A palma forrageira destaca-se por seu elevado potencial produtivo e suas múltiplas utilidades, consolidando-se como uma cultura estratégica no Semiárido brasileiro. Além de seu uso tradicional como planta forrageira, apresenta aplicações promissoras na alimentação humana, na indústria de cosméticos, na produção de medicamentos e corantes naturais. Quando manejada de forma adequada, é capaz de atingir altas produtividades, contribuindo para mitigar os efeitos da baixa oferta de alimentos e forragem durante os períodos de estiagem prolongada.

Mondragón-Jacobo e Pérez-González (2001) destacam a importância socioeconômica da palma nas regiões áridas e semiáridas de países em desenvolvimento, especialmente pela capacidade da cultura em se adaptar a condições climáticas adversas, oferecendo segurança alimentar e contribuindo com a sustentabilidade ambiental. Para Cavalcante (2003), a instabilidade climática representa um dos principais entraves ao desenvolvimento das atividades agropecuárias no Nordeste brasileiro, afetando diretamente o cultivo de forragem e alimentos.

Simões et al. (2005) ressaltam que a palma está presente nas estratégias de mitigação dos efeitos das secas desde a década de 1930, como parte dos programas de políticas públicas federais. Sua fisiologia é adaptada à escassez hídrica: os estômatos se abrem à noite, quando as temperaturas estão mais amenas, e se fecham durante o dia, reduzindo a perda de água (Taiz e Zeiger, 2004). A planta requer uma precipitação anual entre 250 mm e 1.800 mm e suporta temperaturas variando de 18 °C a 38 °C, características que a tornam ideal para regiões áridas e semiáridas.

Embora não deva ser utilizada como alimento exclusivo, devido ao seu perfil nutricional, a palma contribui significativamente para a composição de dietas balanceadas, fornecendo umidade e nutrientes tanto para animais quanto para humanos. O consumo humano das partes jovens da planta (os cladódios ou “broto verde”) é tradicional em países como o México, onde há registro de mais de duzentas receitas culinárias baseadas na palma (Flores, 2001; Guedes et al., 2004). Também há relatos de seu consumo como alimento exótico nos Estados Unidos, Europa e Ásia.

No Brasil, especialmente na Chapada Diamantina e no Sertão baiano, os brotos de palma são utilizados na merenda escolar, comercializados em feiras livres e até industrializados (Guedes, 2002). Além disso, os frutos e os brotos são consumidos in natura ou processados em doces, sucos, conservas e outros preparos culinários, sendo bem aceitos no comércio latino-americano e europeu (Feugang et al., 2006).

A palma também apresenta propriedades medicinais: seus cladódios têm sido estudados para o tratamento de gastrite, hiperglicemia, aterosclerose, diabetes e

hipertrofia prostática (Enouri et al., 2006). Segundo Barbera (2001), a planta é fonte energética relevante na alimentação humana. Tirado (1987) e Badillo (1987) desenvolveram doces a partir de brotos com suco e casca de laranja; Guedes (2004) reuniu diversas receitas que incluem salgados, saladas, sucos e doces à base da palma.

Sáenz et al. (2004) reforçam que a palma forrageira pode gerar múltiplos produtos e subprodutos voltados à alimentação humana e animal, ao setor farmacêutico e cosmético, além de atuar como fonte de aditivos naturais, representando uma alternativa de geração de renda para populações de áreas áridas e semiáridas em diversas regiões do mundo.

No Cariri paraibano, estudos foram conduzidos para identificar variedades de palma com melhor adaptação local. A variedade do gênero *Opuntia* destacou-se por apresentar maior resistência à seca e elevada capacidade de retenção hídrica em suas raquetes, tornando-se a mais indicada para cultivo na região (Sales e Andrade, 2006).

Diante desse contexto, este capítulo tem como objetivo incentivar, divulgar e fornecer informações sobre os benefícios do plantio, cultivo e aproveitamento da palma, promovendo seu uso como alternativa socioeconômica para pequenos agricultores familiares. Busca-se, ainda, desmistificar seu uso na alimentação humana, com foco na inclusão de seus frutos e cladódios no cardápio da merenda escolar e na dieta da população do Povoado Ribeira de Cabaceiras.

METODOLOGIA

A metodologia adotada neste capítulo consistiu em uma pesquisa bibliográfica realizada por meio de livros, revistas, periódicos científicos e fontes eletrônicas. O objetivo foi reunir e analisar estudos sobre os componentes nutricionais da palma forrageira, destacando sua utilidade e importância como vegetal nutritivo, com valores nutricionais superiores aos de muitos alimentos comumente utilizados na culinária tradicional. Além disso, a palma apresenta a vantagem de ser um alimento de baixo custo, acessível às populações de menor poder aquisitivo, o que favorece sua disseminação e uso na região semiárida do Nordeste brasileiro. Ressalta-se que seu consumo já está consolidado em diversas regiões do mundo.

Para que a palma atinja seu potencial produtivo, é necessário que determinadas condições climáticas estejam presentes. A temperatura média ideal varia entre 16,1 °C e 25,4 °C, com máximas entre 28,5 °C e 31,5 °C, e mínimas entre 8,6 °C e 20,4 °C. A amplitude térmica adequada está entre 10,0 °C e 17,2 °C. Quanto à precipitação, os valores ideais anuais situam-se entre 368,4 mm e 812,4 mm, embora a cultura seja capaz de se desenvolver com níveis a partir de 200 mm. A umidade relativa anual pode variar de -63,1 a -37,3%. Segundo Lima et al. (2009), a palma pode ser cultivada mesmo em regiões onde a água é escassa e de baixa qualidade, característica que reforça sua importância como cultura estratégica em ambientes adversos.

As qualidades nutricionais do broto de palma são objeto das tabelas 1 (Laranja e Mamão), tabela 2 (Alface e Espinafre) e tabela 3 (Oleícolas), que estabelecem, comparação com outros vegetais. Os teores de carotenoides e vitamina C entre alface e espinafre, a contribuição da verdura de palma à dieta pode ser significativa, na região do semiárido.

Utilizou-se de diversos comparativos de composição da fruta da palma com a polpa da laranja e a do mamão, demonstrado na tabela 1.

Tabela 1. Comparativos das composições da polpa da fruta da palma forrageira com as das frutas de laranja e mamão.

Componentes	Fruta da palma	Laranja	Mamão
Água (%)	85,0	87,8	88,7
Carboidratos totais (%)	11,0	11,0	10,0
Fibras cruas (%)	1,8	0,5	0,8
Lipídios (%)	0,1	0,1	0,1
Proteínas (%)	0,5	0,4	0,6
Cinzas (%)	1,6	0,4	0,6
Cálcio (mg/100g)	60,0	40,0	20,0
Vitamina C (mg/100g)	30,0	50,0	50,0
Vitamina A (UI)	50,0	200,0	1100,0

Fonte: Adaptado de Cantwell (2001).

A utilização de comparativos de verdura da palma com alface e espinafre, demonstrado na tabela 2.

Tabela 2. Comparação de composição da verdura de palma fresca com alface e espinafre.

Componente	Broto de palma	Alface	Espinafre
Água (%)	91,0	95,5	90,7
Proteínas (%)	1,5	1,0	3,2
Lipídios (%)	0,2	0,1	0,3
Fibras cruas (%)	1,1	0,5	0,9
Carboidratos totais (%)	4,5	2,1	4,3
Cinzas (%)	1,3	0,5	1,8
Cálcio (mg/100g)	90,0	19,0	99,0
Vitamina C (mg/100g)	11,0	4,0	28,0
Carotenoides (µ/100g)	30,0	19,0	55,0

Fonte: Adaptado Rodrigues-Felix e Cantwell (1988).

As comparações foram realizadas com base em dados extraídos da literatura, destacando o potencial nutricional da palma tanto como fruta quanto como verdura. Os brotos da planta apresentam alto rendimento, podendo ser produzidos em grande quantidade sob altas temperaturas e com mínima exigência hídrica, condições que inviabilizam o cultivo de muitas hortaliças folhosas convencionais (Luo e Nobel, 1993).

A utilização de comparativos do valor nutritivo da verdura da palma com determinadas oleícolas, demonstrado na tabela 3.

Tabela 3. Comparação do valor nutritivo da verdura da palma com determinadas oleícolas.

Oleícolas	Vitamina A (mcg)	Fe (mg/100g)	Ca (mg/100g)
Palma	220,0	2,8	200,0
Tomate	180,0	0,8	10,0
Pimentão	150,0	0,6	7,0
Vagem	120,0	1,3	55,0
Quiabo	90,0	0,6	60,0
Chuchu	20,0	0,5	7,0
Couve-flor	5,0	0,7	120,0

Fonte: Adaptado de Guedes (2004).

RESULTADO DISCUSSÃO

Farias et al. (2005) destacaram que o crescimento e o desenvolvimento da palma forrageira são favorecidos em regiões de maior altitude, devido à diminuição da temperatura do ar e ao aumento da umidade relativa durante o período noturno, que pode oscilar entre 55% e 60%. Esses fatores criam um microclima propício ao bom desempenho fisiológico da cultura.

Além dos aspectos agrônômicos, o cultivo da palma na região estudada apresenta relevância sob as perspectivas socioeconômica e ambiental. Do ponto de vista ambiental, sua adoção contribui para a conservação da biodiversidade da caatinga, oferecendo uma alternativa de alimento sustentável para os rebanhos em períodos de escassez hídrica. No aspecto socioeconômico, a palma representa uma oportunidade de fortalecimento da agricultura familiar, especialmente quando inserida em sistemas consorciados, favorecendo o uso racional do solo, a diversificação produtiva e a geração de renda.

Dessa forma, a inserção da palma forrageira como cultura estratégica no Povoado Ribeira de Cabaceiras pode ampliar a resiliência dos pequenos produtores frente às adversidades climáticas, reforçando a segurança alimentar e nutricional da população local.

CONCLUSÃO

A palma forrageira, devido às suas características nutricionais, configura-se como uma excelente alternativa alimentar para as populações do semiárido brasileiro. Rica em fibras, proteínas e compostos bioativos, pode ser incorporada à dieta humana como complemento nutricional, especialmente em comunidades com limitações socioeconômicas.

As análises comparativas dos seus componentes nutricionais evidenciam que a palma possui valor alimentar superior ao de muitas hortaliças comuns na culinária vegetariana. Além disso, destaca-se pelo baixo custo de produção, o que a torna uma opção acessível para famílias em situação de vulnerabilidade.

Os principais fatores que justificam e incentivam o cultivo da palma incluem: a preocupação com a conservação da biodiversidade da caatinga; a busca por alternativas sustentáveis de alimentação animal; a capacidade da cultura em se adaptar às variações climáticas extremas; e a possibilidade de geração de renda a partir da comercialização de seus frutos e raquetes. Portanto, a promoção do seu uso na alimentação humana, inclusive em programas de merenda escolar e consumo doméstico, representa uma estratégia eficaz para promover segurança alimentar e sustentabilidade no semiárido nordestino.

REFERÊNCIAS

- BADILLO, J. R. **Elaboración de una jalea de nopal**. México: Universidade Autónoma de Puebla/Esc.Ciencias Químicas, 42p. 1987.
- BARBERA, G. História e importância econômica e agroecologia. In: BARBERA, G.; Inglese, Paolo (Eds.). **Agroecologia, cultivos e usos da palma forrageira**. p.1-11. Paraíba: SEBRAE/PB, 2001.
- CANTWELL, M. Manejo pós-colheita de frutas e verdura de palma forrageira. In: Barbera, Guiseppe; INGLESE, Paolo (Eds.). **Agroecologia, cultivos e usos da palma forrageira**. p. 20-27. Paraíba: SEBRAE/PB, 2001.
- CAVALCANTE, A. C. R.; CÂNDIDO, M. J. D. **Alternativas para aumentar a disponibilidade de alimentos nos sistemas de produção a pasto na Região Nordeste**. Sobral: Embrapa Caprinos, 2003. 31 p. (Embrapa Caprinos. Documentos, 47). 2003.

ENNOURI, M.; FETOUI, H; BOURRET, E; ZEGHAL, N; ATTIA G. H. Evaluation of some biological parameters of *Opuntia ficus indica*. Influence of seed supplemented diet on rats. **Bioresource Technology** n.97, p.2136-2140, 2006.

FARIAS, I.; SANTOS, D. C.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B. Estabelecimento e manejo da palma forrageira. In: MENEZES, R.S.C.; SIMÕES, D.A.; SAMPAIO, E.V.S.B. (Ed.). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. p. 81-104. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005.

FEUGANG, J. M.; KONARSKI, P.; ZOU, D. Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. **Frontiers in Bioscience**, v.11, p.2574-2589, 2006.

FLORES, C. A. V. Produção, industrialização e comercialização de verdura de palma forrageira. In: Barbera, Guiseppe; Inglese, Paolo (Eds.). **Agroecologia, cultivos e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE/PB, p.94-102, 2001.

GUEDES, C. C. **Culinária com broto de palma**. João Pessoa: Universitária, 2002. 53p.

GUEDES, C. C. **Festival gastronômico da palma**. Gurjão, PB: SEBRAE/PB, 2004. 1p.

GUEDES, C. C.; OLIVEIRA, J. S.; FERNANDES, M. F.; OLIVEIRA, R.; DEIRO, T. C. B. J.; SOUSA, V. **Broto de palma, sabor e nutrição**. Sebrae/PE – FAEPE. Recife, 2004.

LIMA, G. F. C.; SILVA, J. G. M.; NOBRE, F. V.; BARRETO, H. F. M. **Produção estratégica de alimentos para a pecuária familiar no semiárido: alternativa para a formulação de rações na própria fazenda**, Natal: EMPARN; EMATER-RN, 2009. 53 p. (6o Circuito de Tecnologias Adaptadas para Agricultura Familiar). 2009.

LUO, Y. E; NOBEL, P. S. Growth characteristics of newly initiated cladodes of *Opuntia ficus-indica* as affected by shading, drought and elevated CO₂. **Physiol. Plant**. 87: 467-474 p, 1993.

MONDRAGÓN-JACOBO, C.; PÉREZ-GONZÁLEZ, S. (Ed.). **Cactus (*Opuntia* spp.) as forage**. (FAO Plant Production and Protection Paper, nº 169). Roma: FAO, 2001.

RODRIGUEZ-FELIX, A.; CANTWELL, M. Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). **Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)**, v. 38, n. 1, p. 83-93, 1988.

SÁENZ, C.; SEPÚLVEDA, E.; MATSUHIRO, B. *Opuntia* spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives. **Journal of Arid Environments**, v. 57, n. 3, p. 275-290, 2004.

SALES, A. T.; ANDRADE, A. P. **Potencial de adaptação de variedades de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*) no cariri paraibano**. In: IV Congresso Nordestino de Produção Animal. Petrolina-PE, p. 434-438. 2006.

SIMÕES, D. A.; SANTOS, D. C.; DIAS, F. M. Introdução da palma forrageira no Brasil. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. (Ed.). In: **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. p. 13-26. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 3ªed., 719p. 2004.

TIRADO, L. E. **Elaboración de una marmelada a base de nopal**. México: Universidade Autónoma de Puebla/Esc. Ciencias Químicas, Dissertação de Mestrado. 1987.

Capítulo 7 - APTIDÃO CLIMÁTICA DA PALMA FORRAGEIRA, UTILIZANDO-SE DOS MÉTODOS PESSIMISTAS E OTIMISTA PARA O POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB, BRASIL

Salatíel Ewen Braga
Romildo Morant de Holanda
Raimundo Mainar de Medeiros
Ana Karolina Peres de Melo Silva
Wagner Rodolfo de Araújo

RESUMO

As mudanças climáticas configuram-se como um dos maiores desafios socioeconômicos e científicos da atualidade, exigindo ações adaptativas eficazes, especialmente em regiões vulneráveis como o semiárido brasileiro. Este estudo avaliou a aptidão climática da palma forrageira (*Opuntia* spp.) no Povoado Ribeira de Cabaceiras – PB, com base nos cenários B₁ (otimista) e B₂ (pessimista) de mudança climática, propostos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Para isso, foram utilizados dados de precipitação mensal (mm), referentes ao período de 2010 a 2023, interpolados pelo método da Média Ponderada pelo Inverso da Distância ao Quadrado, a partir dos municípios circunvizinhos. Os valores térmicos médios foram estimados por meio do software *Estima_T*. As oscilações térmicas e pluviométricas observadas representam um desafio contínuo à compreensão dos impactos das mudanças climáticas e suas implicações na agricultura. Os resultados evidenciam que, mesmo sob cenários de adversidade climática, a palma forrageira apresenta aptidão para cultivo na região, sendo uma alternativa resiliente para a sustentabilidade agropecuária. A integração entre ciência, planejamento, monitoramento climático e gestão territorial é essencial para fortalecer a resiliência local e garantir a segurança alimentar e o bem-estar da comunidade.

Palavras-Chave: Adaptação climática, Resiliência agrícola, Gestão territorial, Monitoramento climático, Sustentabilidade rural.

CLIMATIC SUITABILITY OF FORAGE CACTUS USING PESSIMISTIC AND OPTIMISTIC SCENARIOS FOR THE VILLAGE OF RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRAZIL

ABSTRACT

Climate change is one of the greatest current socioeconomic and scientific challenges, demanding effective adaptive actions, especially in vulnerable regions such as the Brazilian semi-arid zone. This study assessed the climatic suitability of forage cactus (*Opuntia* spp.) in the village of Ribeira de Cabaceiras – PB, based on the B₁ (optimistic) and B₂ (pessimistic) climate change scenarios proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Monthly precipitation data (mm) from 2010 to 2023 were used, interpolated using the Inverse Distance Weighted (IDW) method, based on data from surrounding municipalities. Average thermal values were estimated using the *Estima_T* software. The observed thermal and rainfall variations represent an ongoing challenge to understanding the impacts of climate change and its implications for agriculture. The results show that even under adverse climate scenarios, forage cactus demonstrates suitability for cultivation in the region, making it a resilient alternative for

agricultural and livestock sustainability. Integration between science, planning, climate monitoring, and land management is essential to strengthen local resilience and ensure food security and community well-being.

Keywords: Climate adaptation, Agricultural resilience, Land management, Climate monitoring, Rural sustainability.

INTRODUÇÃO

As classes edafoclimáticas do semiárido brasileiro são caracterizadas por solos predominantemente rasos, pedregosos ou arenosos, com baixos teores de matéria orgânica, porém ricos em minerais solúveis e, geralmente, com pH neutro ou levemente alcalino. O clima da região é semiárido, com precipitações anuais variando entre 400 mm e 800 mm, distribuídas de forma irregular e concentradas no verão (Filho et al., 2024).

A *Opuntia ficus-indica*, conhecida popularmente como palma forrageira, destaca-se como uma planta de elevado valor nutricional e múltiplas aplicações. Segundo Santos et al. (2012), ela é utilizada não apenas na agricultura e pecuária, mas também nas indústrias farmacêutica, química e alimentícia. Estudos de Dantas et al. (2017) destacam ainda seu uso tradicional na medicina popular, despertando crescente interesse por seu potencial terapêutico e nutricional.

Entretanto, os impactos das mudanças climáticas globais afetam diretamente a produção agrícola, sobretudo em regiões vulneráveis. Jenkin et al. (2005) alertam que as populações mais pobres, especialmente em países em desenvolvimento, serão as mais suscetíveis aos efeitos adversos do aquecimento global. Santos e Carlesso (1998) observaram que a deficiência hídrica afeta diretamente os processos fisiológicos e morfológicos das plantas, o que se agrava diante das projeções climáticas futuras.

No contexto do semiárido, Costa (2011) destaca a biodiversidade regional como um fator de suporte a diversas atividades socioeconômicas. A palma, nesse cenário, apresenta-se como uma espécie estratégica, com potencial de uso forrageiro, medicinal e alimentar, além de contribuir para a segurança alimentar e a sustentabilidade das populações locais.

De acordo com o IPCC (2014), os cenários projetados para o final do século indicam aumentos médios de temperatura entre 1°C e 4°C no Nordeste brasileiro, além de reduções nos índices pluviométricos entre 10% e 20%. Essas alterações podem intensificar os períodos de seca, aumentar o número de dias secos consecutivos e comprometer o desenvolvimento das culturas agrícolas. Tais previsões impõem desafios ao cultivo de espécies adaptadas ao clima seco, como a palma forrageira.

Diante desse panorama, torna-se essencial avaliar o comportamento climático regional por meio de ferramentas como o Balanço Hídrico (BH), que permite analisar a disponibilidade de água no solo em função das precipitações, evapotranspiração e capacidade de armazenamento hídrico. Segundo Matos et al. (2018) e Holanda e Medeiros (2019), o BH é fundamental para o planejamento agrícola, pois identifica os períodos de deficiência e excesso hídrico, fornecendo subsídios para decisões estratégicas em áreas de elevada vulnerabilidade climática.

Assim, este estudo tem como objetivo avaliar a aptidão climática da palma forrageira para o Povoado Ribeira de Cabaceiras, utilizando os cenários de mudanças climáticas B₁ (otimista) e B₂ (pessimista), conforme proposto pelo IPCC, visando subsidiar ações de planejamento e adaptação frente às mudanças climáticas.

METODOLOGIA

Os dados de precipitação mensal (mm), referentes ao período de 2010 a 2023, foram obtidos a partir da interpolação pelo método da Média Ponderada pelo Inverso da Distância ao Quadrado (IDW), utilizando-se informações pluviométricas dos municípios circunvizinhos: São João do Cariri, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel, Boqueirão e Boa Vista (AESAs, 2023).

As temperaturas médias do ar foram estimadas por meio do software Estima_T, o qual utiliza um modelo empírico baseado em uma superfície quadrática em função das coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude), conforme proposto por Cavalcanti et al. (2006) e Cavalcanti e Silva (1994). A partir dos dados gerados pelo Estima_T, foi elaborada uma planilha eletrônica para o cálculo das médias mensais e anuais de temperatura para a localidade em estudo.

$$T = C_0 + C_1\lambda + C_2\varnothing + C_3h + C_4\lambda_2 + C_5\varnothing_2 + C_6h_2 + C_7\lambda\varnothing + C_8\lambda h + C_9\varnothing h$$

Em que:

$C_0, C_1, \dots, C_9$: constantes;

$\lambda, \lambda_2, \lambda\varnothing, \lambda h$: longitude;

$\varnothing, \varnothing_2, \lambda\varnothing$: latitude;

$h, h_2, \lambda h, \varnothing h$: altitude.

A determinação do computo do BH, foi através da metodologia de (Thornthwaite, 1948; Thornthwaite e Mather, 1955), através do uso da planilha eletrônica desenvolvida por Medeiros (2020) que contabilizou as entradas e saídas de água no solo, em que a precipitação representa (ganho) e a evapotranspiração (perda) de umidade do solo, estimaram ainda, os valores correspondentes ao Excedente Hídrico (EXE) e Deficiência Hídrica (DEF). Com apoio a metodologia foi estimada a capacidade de armazenamento de água disponível no solo (CAD) de 100 mm. A Evapotranspiração Potencial (ETp) obtida por:

$$ETp = Fc \cdot 16 \cdot \left(10 \frac{T}{I}\right)^a$$

Onde;

ETp: Evapotranspiração potencial anual (mm ano^{-1});

Fc: Fator de correção, segundo a Tabela 1;

T: Temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$);

I: Índice anual de calor, correspondente a soma dos doze índices mensais; e

a: Função cúbica do índice anual de calor dada por:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 0,01791 \cdot I + 0,492.$$

Tabela 1. Fator de correção (Fc) em função dos dados mensais.

Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Fator	1,80	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10

Fonte: Adaptado de Thornthwaite (1948).

Na determinação da aptidão climática para a cultura da palma forrageira (*Opuntia* sp.), utilizou-se dos indicadores climáticos sugeridos por Souza et al. (2008) e expostos na Tabela 2. Essas faixas foram utilizadas no estudo do zoneamento agroclimático da palma forrageira para o estado de Pernambuco por Moura et al. (2011) e por Bezerra et

al. (2014) e também em estudo sobre o zoneamento agroclimático da palma forrageira para o estado da Paraíba.

Utilizando-se do computo do BH, calcularam-se os índices de aridez (Ia), umidade (Iu) e hídrico (Ih), segundo as equações abaixo. Estes índices são importantes para a caracterização climática da região segundo a metodologia de Thornthwaite (1948), e no estudo de adaptação de culturas à região em estudo.

O Ia caracteriza-se por indicar a deficiência hídrica expressa em percentagem da evapotranspiração potencial (necessidade). É definido em função da deficiência e evapotranspiração potencial (ambas anuais), expresso da seguinte forma:

$$Ia = 100 \frac{\sum DEF}{\sum ETp}$$

O Iu representa o excesso hídrico expresso em percentagem da necessidade que é representada pela evapotranspiração potencial, ambas anuais, pela expressão:

$$Ih = 100 \frac{\sum EXE}{\sum ETp}$$

Geralmente tem-se durante o ano estações de excesso e falta de água. Por isso, define-se o índice hídrico da seguinte maneira:

$$Iu = Ih - 0,6 \cdot Ia$$

Em que:

Ia: Índice de aridez (%);

Ih: Índice hídrico (%);

Iu: Índice de umidade (%);

$\sum DEF$: Somatório da deficiência hídrica anual (mm ano^{-1});

$\sum EXE$: Somatório do excedente hídrico anual (mm ano^{-1});

$\sum ETp$: Somatório da evapotranspiração anual (mm ano^{-1}).

Os valores dos indicadores climáticos para o Povoado Ribeira de Cabaceiras, Brasil foram aplicados segundo os critérios da Tabela 2, para determinação da aptidão climática, classificando a cultura da palma forrageira em: aptidão plena, aptidão restrita e aptidão inaptidão.

Para a aptidão e zoneamento agroclimático utilizou-se dos critérios para classificação descritos por Moura et al. (2011) e referenciado por Bezerra et al. (2014), da seguinte forma:

- Plena: A região possui clima adequado ao desenvolvimento da cultura, sem apresentar nenhuma restrição ao crescimento e desenvolvimento da cultura.
- Restrita: O cultivo da palma forrageira nesta região é limitado no mínimo por um dos indicadores climáticos.
- Inaptidão: Nesta região os indicadores climáticos encontram-se fora das faixas adequadas ao desenvolvimento da cultura.

Tabela 2. Aptidão e indicadores climáticos da cultura da palma forrageira.

Critério	Plena	Restrita	Inaptidão
T _{méd} (°C)	$16,1 \leq T_{méd} \leq 25,4$	$T_{méd} < 16,1$ ou $T_{méd} > 25,4$	—
T _{máx} (°C)	$28,5 \leq T_{máx} \leq 31,5$	$T_{máx} < 28,5$ ou $T_{máx} > 31,5$	—
T _{mín} (°C)	$8,6 \leq T_{mín} \leq 20,4$	$T_{mín} < 8,6$ ou $T_{mín} > 20,4$	—
AMT (°C)	$10,0 \leq AMT \leq 17,2$	$AMT < 10,0$ ou $AMT > 17,2$	—
Prec (mm)	$368,4 \leq Prec \leq 812,4$	$Prec < 368,4$ ou $812,4 < Prec \leq 1089,9$	$Prec > 1089,9$
Iu	$-65,6 \leq Iu \leq -31,8$	$-31,8 < Iu \leq 7,7$ ou $Iu < -65,6$	$Iu > 7,7$

Legenda: T_{méd}=Temperatura média; T_{máx}=Temperatura máxima; T_{mín}=Temperatura mínima; AMT=Amplitude térmica; Prec =Precipitação anual; Iu=Índice de umidade.

Fonte: Souza et al. (2008).

RESULTADO E DISCUSSÃO

As intensificações das atividades antrópicas e naturais (bióticas e abióticas) vêm provocando alterações significativas no clima global, resultando em elevação das temperaturas médias e mudanças no regime anual de chuvas (IPCC, 2014). Essas oscilações climáticas têm contribuído para eventos extremos, como secas prolongadas e chuvas intensas, sendo o semiárido nordestino uma das regiões mais afetadas.

Tabela 3. Elementos do balanço hídrico, com a CAD de 100 mm no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,8	32,7	146,0	32,7	113,3	0,0
Fevereiro	26,6	23,2	131,4	23,2	108,2	0,0
Março	26,3	59,7	139,1	59,7	79,4	0,0
Abril	25,9	58,7	124,7	58,7	66,0	0,0
Mai	25,0	59,5	112,8	59,5	53,2	0,0
Junho	24,1	51,7	94,0	51,7	42,3	0,0
Julho	23,4	36,8	88,6	36,8	51,8	0,0
Agosto	23,9	19,3	95,2	19,3	75,9	0,0
Setembro	25,0	4,9	109,6	4,9	104,6	0,0
Outubro	26,1	8,6	133,5	8,6	124,9	0,0
Novembro	26,8	7,4	143,9	7,4	136,5	0,0
Dezembro	27,0	20,3	154,9	20,3	134,6	0,0
Anual	25,5	382,9	1473,7	382,9	1090,8	0,0

Fonte: O Autor.

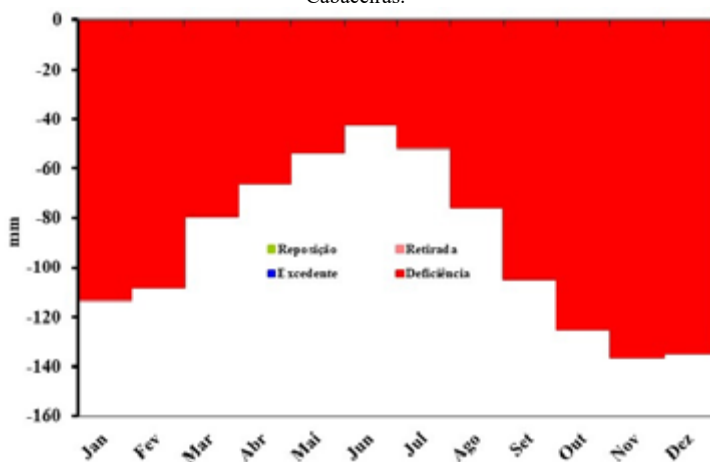
Os elementos do Balanço Hídrico (BH), com Capacidade de Armazenamento de Água no Solo (CAD) de 100 mm, referentes ao Povoado Ribeira de Cabaceiras, estão apresentados na Tabela 3. A temperatura média anual foi de 25,5 °C, com variações

mensais entre 23,4 °C (julho) e 27,0 °C (dezembro). A precipitação anual totalizou 382,9 mm, caracterizada por má distribuição e irregularidade, com valores mensais variando de 4,9 mm (setembro) a 59,5 mm (abril). A evaporação apresentou valores semelhantes à precipitação, com evapotranspiração 284,88% superior ao total pluviométrico anual. As deficiências hídricas alcançaram 1.090,8 mm, variando entre 42,3 mm (junho) e 136,5 mm (novembro), sem registro de excedentes hídricos.

A ocorrência de bloqueios atmosféricos, baixa velocidade dos ventos, reduzida cobertura de nuvens e movimentos verticais descendentes contribuíram para a escassez de chuvas, como também relatado por França e Medeiros (2022), Holanda e Medeiros (2020) e pelo IPCC (2014, 2022). Segundo Campos (2014), esses longos períodos de seca têm causado sérios impactos socioambientais e econômicos na região semiárida.

A Figura 1 apresenta o extrato do BH para o período de 2010 a 2023, evidenciando a predominância de deficiências hídricas ao longo do ano. Resultados semelhantes foram relatados por Marengo et al. (2016) e França e Medeiros (2022).

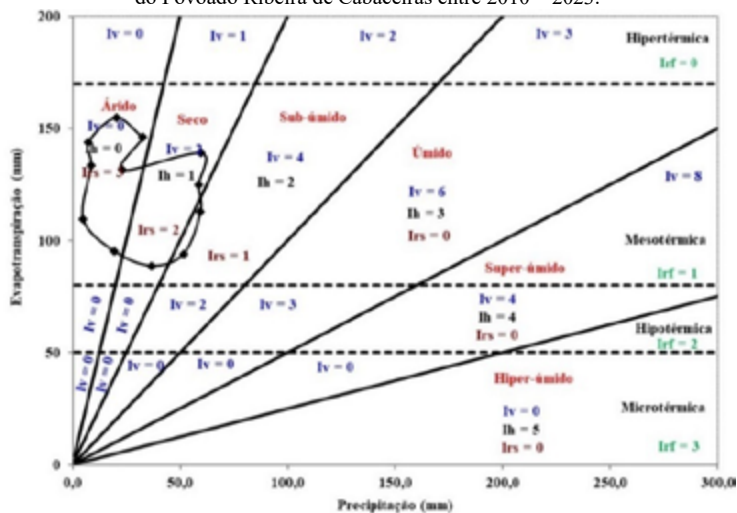
Figura 1. Extrato do balanço hídrico, com a CAD de 100 mm, entre 2010 - 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Na Figura 2, observa-se o comportamento climático, com base no evapopluviograma para a CAD de 100 mm. O clima árido predomina em sete meses do ano, o clima seco em três meses e o subúmido em dois. A classificação geral do clima da região é mesotérmica.

Figura 2. Distribuição das repartições hídricas e térmicas, da CAD de 100 mm, para o evapopluviograma do Povoado Ribeira de Cabaceiras entre 2010 – 2023.



Fonte: O Autor.

Os resultados climáticos extraídos do evapopluviograma estão apresentados na Tabela 4, e corroboram com os achados de Medeiros et al. (2013) e Matos et al. (2017).

Tabela 4. Índices climáticos do Povoado Ribeira de Cabaceiras entre 2010 – 2023.

Índices Climáticos	Iv	Irs	Irf	Cv (%)	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
	14	5	1	30,2	25,5	382,9	1473,7	1090,8	0,0

Fonte: O Autor.

Ao simular um aumento de 1 °C na temperatura média e uma redução de 10% na precipitação, conforme apresentado na Tabela 5, observou-se temperatura anual de 26,6 °C, com variações entre 24,4 °C (julho) e 28,0 °C (novembro). A precipitação anual caiu para 344,6 mm, com evapotranspiração superando os índices pluviométricos em 79,28%. A deficiência hídrica aumentou para 1.319,3 mm, reforçando os impactos negativos previstos pelas mudanças climáticas, conforme discutido por França e Medeiros (2022), Medeiros et al. (2021) e IPCC (2014, 2022).

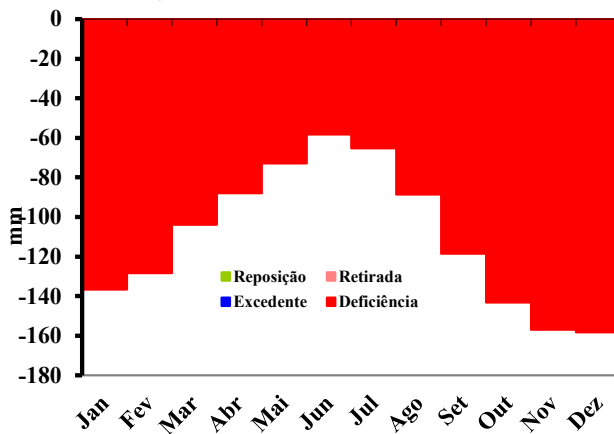
Tabela 5. Elementos do balanço hídrico, com aumento de 1°C na temperatura e redução de chuva de 10% no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Meses	T(°C)	P(mm)	ETP(mm)	ETR(mm)	DEF(mm)	EXC(mm)
Janeiro	27,8	29,4	166,1	29,4	136,7	0,0
Fevereiro	27,6	20,8	149,2	20,8	128,3	0,0
Março	27,3	53,7	157,7	53,7	104,0	0,0
Abril	26,9	52,8	140,9	52,8	88,1	0,0
Mai	26,0	53,6	126,6	53,6	73,0	0,0
Junho	25,1	46,5	104,8	46,5	58,3	0,0
Julho	24,4	33,1	98,3	33,1	65,2	0,0
Agosto	24,9	17,4	106,0	17,4	88,6	0,0
Setembro	26,0	4,4	123,0	4,4	118,6	0,0
Outubro	27,1	7,8	151,1	7,8	143,3	0,0
Novembro	27,8	6,7	163,7	6,7	157,0	0,0
Dezembro	28,0	18,3	176,5	18,3	158,2	0,0
Anual	26,6	344,6	1663,9	344,6	1319,3	0,0

Fonte: O Autor.

A Figura 3 mostra o extrato do BH para essa simulação (1 °C e -10% de chuva), evidenciando predominância de deficiências hídricas fortes a intensas. Tais resultados confirmam os estudos de Holanda e Medeiros (2020) e Medeiros et al. (2022).

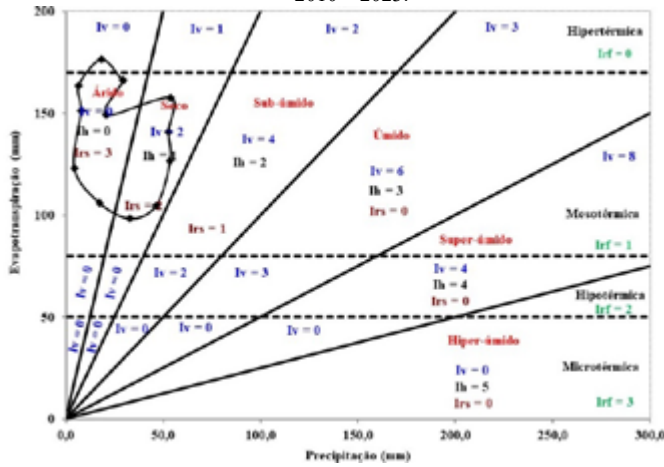
Figura 3. Extrato do balanço hídrico, com a CAD de 100 mm, aumento de 1°C na temperatura e redução de 10% nas chuvas, entre 2010 - 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

A Figura 4 apresenta a distribuição dos domínios hídricos e térmicos para essa mesma simulação, destacando a prevalência de clima árido em sete meses e clima seco em cinco, com predomínio mesotérmico geral.

Figura 4. Distribuição das repartições hídricas e térmicas, da CAD de 100 mm, com aumento de 1°C na temperatura e redução de 10% chuva, para o evapopluviograma do Povoado Ribeira de Cabaceiras entre 2010 – 2023.



Fonte: O Autor.

A Tabela 6 resume os dados climáticos obtidos com base no evapopluviograma, corroborando os achados de Medeiros et al. (2013) e Matos et al. (2017). Sob um cenário mais pessimista, com acréscimo de 4 °C na temperatura média e redução de 20% nas chuvas (Tabela 7), observam-se as maiores alterações nos elementos do BH. Esses resultados confirmam os estudos de Marengo et al. (2021), IPCC (2022) e Medeiros et al. (2022).

Tabela 6. Índices climáticos do Povoado Ribeira de Cabaceiras entre 2010 – 2023.

Índices Climáticos	Iv	Irs	Irf	Cv (%)	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
	2	5	1	30,1	26,6	344,6	1663,9	1319,3	0,0

Fonte: O Autor.

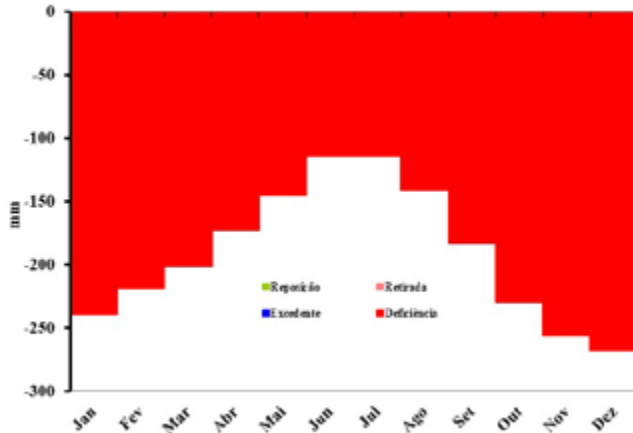
Tabela 7. Elementos do balanço hídrico, com aumento de 4°C na temperatura e redução de chuva de 20% no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Meses	T(°C)	P(mm)	ETP(mm)	ETR(mm)	DEF(mm)	EXC(mm)
Janeiro	30,8	26,2	265,5	26,2	239,3	0,0
Fevereiro	30,6	18,5	237,0	18,5	218,4	0,0
Março	30,3	47,7	248,8	47,7	201,1	0,0
Abril	29,9	46,9	219,6	46,9	172,7	0,0
Mai	29,0	47,6	192,6	47,6	145,0	0,0
Junho	28,1	41,3	155,0	41,3	113,7	0,0
Julho	27,4	29,4	142,9	29,4	113,5	0,0
Agosto	27,9	15,4	156,0	15,4	140,6	0,0
Setembro	29,0	4,0	186,9	4,0	183,0	0,0
Outubro	30,1	6,9	236,7	6,9	229,8	0,0
Novembro	30,8	5,9	261,5	5,9	255,6	0,0
Dezembro	31,0	16,3	283,9	16,3	267,6	0,0
Anual	29,6	306,3	2586,5	306,3	2280,2	0,0

Fonte: O Autor.

Na Figura 5, o extrato do BH para essa simulação evidencia deficiências hídricas persistentes e intensas. Tais variabilidades refletem os impactos severos previstos por Matos et al. (2018).

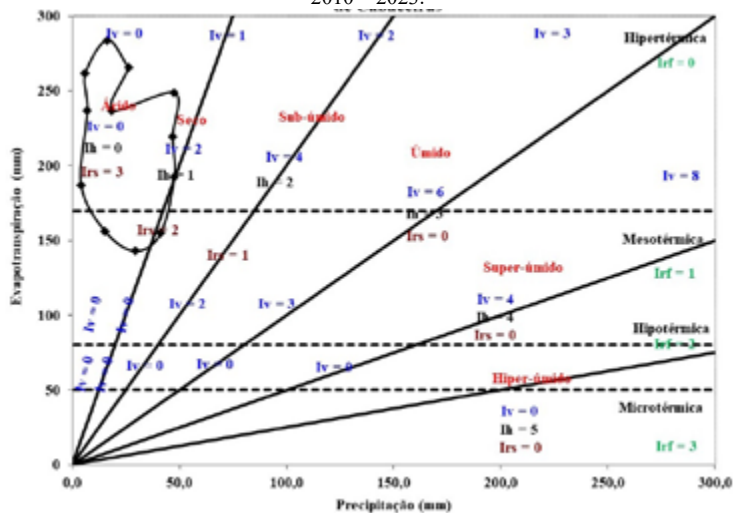
Figura 5. Extrato do balanço hídrico, com a CAD de 100 mm, aumento de 4°C na temperatura e redução de 20% nas chuvas, entre 2010 - 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

A Figura 6 apresenta o comportamento climático com base no evapopluiograma sob o cenário de +4 °C e -20% de chuva, revelando sete meses com clima árido, quatro meses com clima seco e um mês com clima subúmido. Nessa condição, o clima foi classificado como hipertérmico em sua maioria, com ocorrência mesotérmica em menor escala.

Figura 6. Distribuição das repartições hídricas e térmicas, da CAD de 100 mm, com aumento de 4°C na temperatura e redução de 20% chuva, para o evapopluiograma do Povoado Ribeira de Cabaceiras entre 2010 – 2023.



Fonte: O autor.

Os dados da Tabela 8 complementam os resultados climáticos sob esse cenário mais drástico, reafirmando a consistência com os estudos de Medeiros et al. (2015) e Matos et al. (2018).

Tabela 8. Índices climáticos do Povoado Ribeira de Cabaceiras entre 2010 – 2023.

Índices Climáticos	Iv	Irs	Irf	Cv (%)	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
	2	5	0	227,5	29,6	306,3	2586,5	2280,2	0,0

Fonte: O Autor.

CONCLUSÃO

As oscilações nos regimes de precipitação e temperatura representam um dos principais desafios para a compreensão e adaptação às mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Os resultados deste estudo evidenciam que o clima do Povoado Ribeira de Cabaceiras já apresenta forte tendência à escassez hídrica, a qual se intensifica sob cenários simulados de aumento da temperatura e redução das chuvas.

Diante das simulações realizadas, com acréscimos de 1 °C e 4 °C nas temperaturas médias e reduções de 10% e 20% na precipitação, observou-se a predominância de déficits hídricos em todos os cenários. Ainda assim, os indicadores analisados revelam que a palma forrageira (*Opuntia* sp.) apresenta aptidão climática para cultivo na região, mesmo sob condições adversas, sendo classificada entre os níveis de aptidão plena e restrita, conforme os critérios adotados.

A cultura da palma forrageira se mostra, portanto, uma alternativa viável e estratégica para a segurança alimentar e a resiliência agropecuária no contexto do semiárido. Além de suas qualidades forrageiras, a palma apresenta propriedades medicinais e alimentares relevantes, cuja disseminação entre os produtores locais pode ampliar sua aceitação e aproveitamento.

É fundamental fortalecer ações integradas de ciência, planejamento, monitoramento e gestão territorial, visando à adaptação climática e ao uso sustentável dos recursos naturais. Informar e sensibilizar a população sobre os múltiplos usos e benefícios da palma forrageira é um passo essencial para promover sua valorização, incentivar sua adoção e contribuir para o desenvolvimento socioeconômico da região.

REFERÊNCIAS

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2023.
- BEZERRA, B. G.; ARAÚJO, J. S.; PEREIRA, D. D.; LAURENTINO, G. Q.; SILVA, L. L. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 755-761, 2014.
- CAMPOS, J. N. B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 28, n. 82, p. 65-88, 2014.
- CAVALCANTI, E. P.; SILVA, E. D. V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8, 1994. Belo Horizonte, **Anais...Belo Horizonte: SBMET**, 1, p.154-157. 1994.
- 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**, 10. p.140-147. 2006.

COSTA, T. P. **Frutas da Caatinga: Gerando Sustentabilidade em Áreas Recaatingadas no Semiárido**. IRPAA - Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada. 51p. 1ª ed. Editora e gráfica Franciscana Ltda.: Juazeiro - BA, 51p. 2011.

DANTAS, A. C. P.; SANTOS, S. J. de A.; MARTINS, R. F. A palma forrageira (*Opuntia* sp.) e o seu potencial medicinal para o semiárido. In: **Anais do II Congresso Nacional Interdisciplinar em Desenvolvimento Social**, Campina Grande: Realize Editora, 2017.

FILHO, M. C.; FRANÇA, M. V.; LAGES, M. G. M. O.; HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M. **Oscilações e variabilidades climáticas no Povoado Ribeira de Cabaceiras/Paraíba, Brasil**. 1ª Edição. Recife: Editora Universitária da Universidade Federal Rural de Pernambuco. p.236. 2024. ISBN (físico) 978-85-7946-426-3; ISBN (digital) 978-85-7946-425-6. 2024.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática do sorgo como suporte alimentar a avicultura de São Bento Una-Pernambuco, Brasil. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 4, p. 275-283, 2022.

HOLANDA, R. M. de; MEDEIROS, R. M. de. Comportamento térmico e a contribuição pluvial em Lagoa Seca, Brasil entre 1981-2019. **Research, Society and Development**, v. 9, p. e695974815, 2020.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M. Classificação climática pelo método de Köppen e Thornthwaite em Bom Jesus do Piauí, Brasil. **Pantaneira**, V. 16. Pag. 57 - 68, UFMS, Aquidauana-MS, 2019.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Summary for policymakers In: Climate Change 2014: **Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA) ed C B Field et al. (Cambridge University Press) pp 1–32. 2014

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, H. O. PÖRTNER, D. C.; ROBERTS, E. S.; POLOCZANSKA, K.; MINTENBECK, M.; TIGNOR, A.; ALEGRÍA, M.; CRAIG, S.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, V.; MÖLLER, A. OKEM (eds.). Cambridge University Press. 2022.

JENKINS, G., BETTS, R., COLLINS, M., GRIGGS, D., LOWE, J., WOOD, R. **Stabilising Climate to Avoid Dangerous Climate Change**. London: The Hadley Centre/DEFRA. 2005.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; CUARTAS, L. A.; DEUSDARÁ LEAL, K. R.; BROEDEL, E.; SELUCHI, M. E.; MICHELIN, C. M.; DE PRAGA BAIÃO, C. F.; CHUCHÓN ÂNGULO, E.; ALMEIDA, E. K.; KAZMIERCZAK, M. L.; MATEUS, N. P. A.; SILVA, R. C.; BENDER, F. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: Characterization, Causes, and Impacts. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 1-20, 2021

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in northeast Brazil-past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3-4: p. 1189-1200, 2016.

MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; BORGES, V. E.; MEDEIROS, R. M.; Zoneamento agroclimático da palma forrageira para o município de Barbalha- CE. **Revista ESPACIOS**. ISSN 0798 1015 Vol. 38 (Nº 23) Año 2017.

MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; BORGES, V. E.; SOBRINHO, T. G.; DANTAS NETO, J.; SABOYA, L. M. F. Potencial agroclimático para a cultura da mangueira no município de Barbalha - CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada [online]** 12. 10.7127/RBAI.V12N100732. 2018.

MEDEIROS, R. M. Milho e sorgo e suas potencialidades nas aptidões climáticas para o Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Mirante**, Anápolis (GO), v. 13, n. 2, ISSN 1981-4089. dez. 2020.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFRRPE. 2026.

MEDEIROS, R. M.; AZEVEDO, P. V.; SABOYA, L. M. F. Classificação climática e zoneamento agroclimático para o município de Amarante-PI. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, n.2, p.170-180, 2013.

MEDEIROS, R. M.; FRANÇA, M. V.; SABOYA, L. M. F.; HOLANDA, R. M.; WAGNER, R. B.; BRAGA, S. E. Balanço hídrico e seus comparativos com 1996-2005, 2006-2015 em relação a 2015 no município de São Bento do Una - PE. **E-Acadêmica**, 3, e7532226. 2022.

MEDEIROS, R. M.; MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; SILVA, J. A. S. Caracterização climática e diagnóstico da aptidão agroclimática de culturas para Barbalha - CE. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, p.461 - 2015.

MEDEIROS, R. M.; SILVA, V. P.; MORAES, A. S.; PISCOYA, V.; FRANCA, M. V.; SABOYA, L. M. F. Decadal Precipitation in São Bento Una - Pernambuco, Brazil. **ijssrm.humanjournals.com**. 19, 42 - 56. 2021.

MOURA, M. S. B.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, T. G. F.; SÁ, I. I. S. **Zoneamento agroclimático da palma forrageira para o estado de Pernambuco**. Petrolina: Embrapa Semiárido 2011. 26p. Documentos 242. 2011.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294. 1998.

SANTOS, T. C.; JÚNIOR, J. E. N.; PRATA, A. P. N. Frutos da Caatinga de Sergipe utilizados na alimentação humana. **Scientia Plena**. Vol. 8, n. 4, 2012.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; SOARES, J. M.; CARMO, J. F. A.; BRANDÃO, E. O. Indicadores climáticos para o zoneamento agrícola da palma forrageira (*Opuntia* sp.). In: **Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido**, 3, 2008, Petrolina. Anais...Petrolina: Embrapa Semi-Árido, p.23-28. Documentos 210. 2008.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review** 38, 55-94. 10.2307/210739. 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publication in Climatology**, n.8, Laboratory of Climatology, Centerton, N. J. 1955.

UNESCO. Mexico City **Declaration on Cultural Policies World Conference on Cultural Policies**, Mexico City, 26 July - 6 August, 1982.

Capítulo 8 - VARIABILIDADE TÉRMICA MÍNIMA BIANUAL E CLIMATOLOGICA NO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS - PB, BRASIL

Romildo Morant de Holanda
Raimundo Mainar de Medeiros
Salatviel Ewen Braga
Ana Karolina Peres de Melo Silva
Kyriale Vasconcelos Morant Cavalcanti

RESUMO

A informação climática é de fundamental importância para o planejamento das atividades bióticas e abióticas, como agricultura, indústria, comércio, lazer e serviços. Compreender as flutuações térmicas e suas implicações auxilia diretamente na tomada de decisões para essas diversas áreas. Este capítulo tem como objetivo aferir as variabilidades térmicas mínimas bianuais e compará-las com a média climatológica do período de 2008 a 2023, visando identificar oscilações significativas que impactaram o comportamento térmico no Povoado Ribeira de Cabaceiras – PB. Os dados das temperaturas mínimas (°C) foram obtidos por meio do software Estima_T, organizados em médias bianuais: 2008-2009; 2010-2011; 2012-2013; 2014-2015; 2016-2017; 2018-2019; 2020-2021; 2022-2023. Esses valores foram comparados à climatologia geral do período 2008-2023, permitindo analisar a evolução térmica interanual e identificar padrões de variação. Os resultados obtidos contribuíram para a compreensão das flutuações térmicas na região, servindo de base para o planejamento ambiental, elaboração de projetos e formulação de políticas públicas. Identificou-se que as variações nas temperaturas mínimas foram influenciadas por deslocamentos dos períodos chuvosos, bem como por efeitos climáticos regionais e locais. Compreender essas interações é essencial para análises hidrológicas e ambientais, além de fornecer subsídios para o entendimento dos padrões de evaporação e sua relação com o regime térmico local.

Palavras-Chave: Flutuação térmica, Planejamento ambiental, Temperatura mínima, Análise interanual, Regime hidrotérmico.

BIENNIAL MINIMUM THERMAL VARIABILITY AND CLIMATOLOGY IN THE VILLAGE OF RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRAZIL

ABSTRACT

Climatic information is fundamentally important for planning both biotic and abiotic activities such as agriculture, industry, commerce, leisure, and services. Understanding thermal fluctuations and their implications directly supports decision-making in these areas. This chapter aims to assess biennial minimum temperature variability and compare it with the climatological average for the period from 2008 to 2023, in order to identify significant oscillations that have impacted thermal behavior in the village of Ribeira de Cabaceiras – PB. Minimum temperature data (°C) were obtained using the Estima_T software and organized into biennial averages: 2008–2009; 2010–2011; 2012–2013; 2014–2015; 2016–2017; 2018–2019; 2020–2021; 2022–2023. These values were compared to the overall climatology for 2008–2023, allowing for analysis of interannual thermal evolution and the identification of variation patterns. The results contributed to a better understanding of thermal fluctuations in the region, serving as a foundation for environmental planning, project development, and the formulation of public policies. It

was found that variations in minimum temperatures were influenced by shifts in rainy periods as well as regional and local climate effects. Understanding these interactions is essential for hydrological and environmental analyses and provides insights into evaporation patterns and their relationship with the local thermal regime.

Keywords: Thermal fluctuation, Environmental planning, Minimum temperature, Interannual analysis, Hydrothermal regime

INTRODUÇÃO

As questões climáticas tornaram-se centrais nas discussões contemporâneas, sejam elas relacionadas à emergência climática, à crise ambiental ou às mudanças no clima, uma vez que afetam diretamente o cotidiano da sociedade e suas atividades socioeconômicas, culturais, de lazer e trabalho. As variações térmicas e pluviais, especialmente os eventos extremos, como ondas de calor, estiagens, enchentes e alagamentos, acarretam impactos sociais, econômicos e ambientais significativos, incluindo colapsos em infraestruturas, perdas materiais e até humanas.

De acordo com o relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2023), o aquecimento global já apresenta um acréscimo médio de 1,1 °C, resultado da influência direta das atividades humanas. Essa elevação vem ocasionando alterações importantes nos padrões climáticos planetários e, segundo previsões do mesmo órgão, as oscilações térmicas tendem a intensificar ainda mais a magnitude dessas mudanças.

Sales e Ramos (2000) destacam que, no Nordeste do Brasil (NEB), as variabilidades térmicas estão fortemente associadas às condições topográficas locais, mais do que às variações latitudinais. Clemente (2021) e Marengo (2008) também ressaltam que, mesmo com a estabilidade das médias térmicas, os valores tendem a se manter elevados, favorecendo o aumento da evaporação.

O relatório do IPCC (2021) reforça que a influência humana no aquecimento da atmosfera, dos oceanos e da superfície terrestre é inequívoca. Desde 1750, o aumento na concentração de gases de efeito estufa, principalmente devido à queima de combustíveis fósseis e ao desmatamento, tem provocado mudanças rápidas e generalizadas na atmosfera, criosfera e biosfera.

O IPCC (2021) aponta para as seguintes consequências prováveis: A temperatura global pode atingir de 1,5 °C a 2 °C até 2050; Caso esse limite seja alcançado, impactos severos serão sentidos na saúde humana e na agricultura; Aumento da incidência e intensidade de secas; Maior elevação de temperatura nas regiões Norte, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, além de outras áreas da América do Sul; Aumento mais intenso das temperaturas em dias frios no Ártico, chegando a ser três vezes maior que o estimado anteriormente; Crescimento da frequência e da intensidade de eventos extremos, como ciclones tropicais intensos e chuvas torrenciais.

O relatório do IPCC (2022) acrescenta que alguns dos impactos adversos causados pelas mudanças climáticas são já irreversíveis. Tais mudanças comprometeram a segurança alimentar e hídrica, além de afetarem a saúde física e mental da população mundial. Eventos de calor extremo têm provocado mortes e doenças, enquanto a elevação das temperaturas e a maior incidência de chuvas contribuíram para a disseminação de enfermidades de origem hídrica, alimentar e zoonótica. Em áreas urbanas, os efeitos das mudanças climáticas vêm afetando diretamente a saúde, a infraestrutura e a qualidade de vida da população.

No contexto do Nordeste Brasileiro, uma região marcada por desafios físicos e ecológicos, observa-se uma alta variabilidade térmica e pluviométrica, além de uma extensa área semiárida, que representa cerca de 53% do território nordestino (Santos Ferreira et al., 2018). Esta área é caracterizada por chuvas irregulares e má distribuição hídrica, além de apresentar altas temperaturas ao longo do ano. O aquecimento global tem potencializado a evaporação de açudes, reservatórios e lagos, além de elevar os índices de evapotranspiração (Santos et al., 2019).

Diante deste cenário, este estudo tem como objetivo avaliar as oscilações térmicas mínimas bianuais e compará-las com a média climatológica entre os períodos de 2008–2009, 2010–2011, 2012–2013, 2014–2015, 2016–2017, 2018–2019, 2020–2021 e 2022–2023, com o intuito de identificar as principais variações ocorridas no Povoado Ribeira de Cabaceiras, estado da Paraíba, Brasil. Com isso, busca-se compreender a dinâmica térmica local, oferecendo subsídios para análises ambientais, hidrológicas, políticas públicas e planejamento territorial.

METODOLOGIA

Os dados referentes às temperaturas mínimas do ar (°C) foram obtidos por meio do software Estima-T, desenvolvido por Cavalcanti e Silva (1994) e Cavalcanti et al. (2006). Esse programa é amplamente utilizado em estudos climatológicos, por sua capacidade de estimar variáveis térmicas a partir de séries históricas, especialmente em localidades com registros meteorológicos incompletos ou inexistentes.

Para esta pesquisa, os dados foram gerados com base no período compreendido entre os anos de 2008 a 2023, assegurando uma série temporal suficientemente longa para a análise de tendências e variações térmicas.

Com o objetivo de identificar possíveis alterações no comportamento térmico da região ao longo do tempo, foi realizada uma avaliação da evolução climática das médias bianuais das temperaturas mínimas. As médias foram agrupadas em intervalos de dois anos, de modo a suavizar as flutuações anuais e permitir uma visualização mais clara das tendências: 2008–2009, 2010–2011, 2012–2013, 2014–2015, 2016–2017, 2018–2019, 2020–2021 e 2022–2023.

Esses agrupamentos bianuais foram posteriormente comparados à climatologia geral do período de 2008 a 2023, servindo como referência para verificar desvios positivos ou negativos em relação à média histórica. Essa abordagem permitiu observar com maior precisão o comportamento térmico ao longo do tempo, evidenciando possíveis padrões de aquecimento, resfriamento ou estabilidade térmica na série analisada.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Segundo Medeiros e Cavalcanti (2020), as tendências térmicas anuais das temperaturas máxima e mínima em Bom Jesus – Piauí, entre 1960 e 2018, foram analisadas quanto às suas possíveis causas e efeitos. Os resultados permitiram delimitar o comportamento climático da área estudada, identificando períodos mais quentes ou frios, o que serve de alerta para as autoridades e tomadores de decisão, com vistas ao melhor planejamento agropecuário e das atividades de agronegócio. As flutuações das temperaturas decorrem dos sistemas sinóticos atuantes nas épocas chuvosa e seca, além dos impactos ambientais e da influência de sistemas sinóticos transientes em escala local, regional e de larga escala. A caracterização temporal, em escala mensal e anual, gerou valores simulados muito próximos aos valores observados, o que foi confirmado por índices estatísticos de desempenho satisfatório.

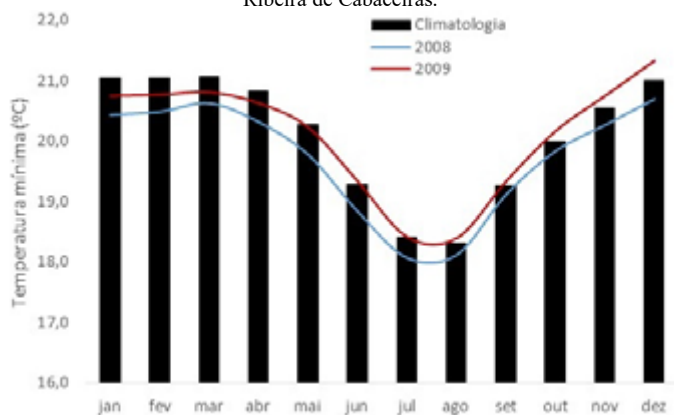
Machado et al. (2017) argumentaram que a climatologia regional é compreendida a partir da descrição dos climas em conformidade com as condições atmosféricas de uma determinada área ou elemento climático (Menezes et al., 2015; Ramos et al., 2017). Os estudos em climatologia regional visam inicialmente diferenciar ou comparar áreas, possibilitando ao pesquisador compreender tanto a variabilidade espaço-climática quanto a distribuição e organização de seus elementos.

Em regiões tropicais, como afirmam Torres e Machado (2011), as amplitudes térmicas são menos significativas em áreas próximas ao mar, onde a maritimidade atua como importante fator de controle climático, atenuando as diferenças térmicas. Já Ayoade (1991) demonstrou que áreas continentais mais distantes do litoral apresentam amplitudes térmicas e extremos mais acentuados, devido ao maior aquecimento e resfriamento da superfície terrestre ao longo do dia.

As variabilidades térmicas mínimas bianuais de 2008–2009, comparadas à climatologia, estão representadas na Figura 1. No ano de 2008, registrou-se temperatura mínima inferior à climatologia entre janeiro e agosto, e aumento entre setembro e dezembro. Julho e agosto apresentaram os menores valores, enquanto março foi o mês mais quente. Em 2009, houve equilíbrio térmico entre maio e setembro, aumento de outubro a dezembro e redução entre janeiro e abril. Tais variações foram influenciadas por sistemas regionais e locais de meso e microescala. Resultados semelhantes foram encontrados por Marengo et al. (2022) e Lima et al. (2024).

As madrugadas de 2008 apresentaram temperaturas amenas, abaixo da climatologia. Em 2009, a temperatura mínima oscilou: de janeiro a abril foi inferior à média, de maio a agosto igualou-se à climatologia, e de setembro a dezembro apresentou acréscimo. Estes resultados estão alinhados com as análises de Machado et al. (2017).

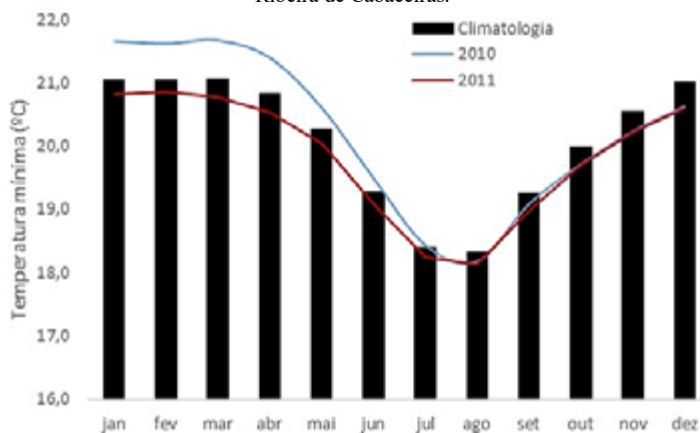
Figura 1. Variabilidade térmica mínima bianual (2008-2009) e seu comparativo climatológico no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Entre janeiro e junho de 2010 (Figura 2), a temperatura mínima (T_n) teve acréscimos entre 0,1 °C e 0,8 °C, devido à atuação de bloqueios atmosféricos e variações de sistemas em meso e microescala. De agosto a dezembro, houve redução dos índices térmicos em até 0,6 °C, influenciada pela reversão dos bloqueios. Em 2011, as T_n estiveram abaixo da climatologia de janeiro a agosto, com aumentos de setembro a dezembro, devido a chuvas isoladas, aumento de nebulosidade e redução da radiação solar (Marengo et al., 2021).

Figura 2. Variabilidade térmica mínima bianual (2010-2011) e seu comparativo climatológico no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



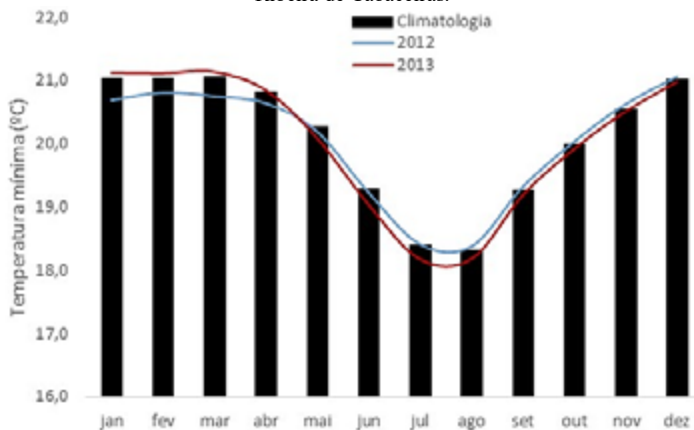
Fonte: O Autor.

Santos e Oliveira (2017) analisaram projeções térmicas para o Brasil com variações de 1,5 °C, 2 °C e 4 °C, e constataram que as regiões Norte e Nordeste foram as mais impactadas, com aumento da temperatura mínima e 75% mais dias quentes.

Em 2012 (Figura 3), as Tn estiveram abaixo da climatologia entre janeiro e abril, iguais entre maio e junho, e entre agosto e dezembro. Esses padrões foram associados a influências locais e regionais, em consonância com os estudos de França et al. (2021), Santos e Oliveira (2017) e Marengo et al. (2022).

Analisando-se as variabilidades térmicas mínimas do biênio (2012-2013) e seu comparativo climatológico, observam-se que o ano 2013 registrou TN maior que a climatologia nos meses de janeiro a março, as TN igualaram-se a climatologia nos meses de abril a junho e de setembro a dezembro, em julho e agosto a TN foi inferior a climatologia. Essas flutuações foram ocasionadas por ocorrências de chuvas isoladas, acrescentamento da cobertura de nuvens e redução da insolação, (Marengo et al., 2021).

Figura 3. Variabilidade térmica mínima bianual (2012-2013) e seu comparativo climatológico no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



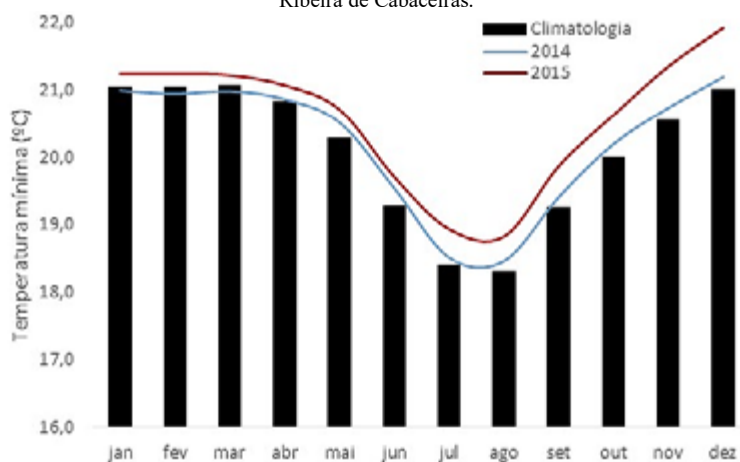
Fonte: O Autor.

Medeiros e Cavalcanti (2020) analisaram as variações das temperaturas médias e extremas na Zona da Mata Pernambucana entre 1950 e 2017, apontando tendências de redução térmica com periodicidade de 0,7 a 1,4 meses.

Em 2014, as oscilações térmicas foram menos influenciadas por fatores locais, e de março a abril a T_n ficou abaixo da climatologia, superando-a entre abril e dezembro com variações entre 0,1 °C e 0,4 °C. Marengo et al. (2022) indicam que tais flutuações são comuns, especialmente nos meses secos.

Com flutuações térmicas mínimas oscilando 0,1°C a 0,9°C, registrada na Figura 4, para o ano de 2015. Destaca-se para o ano de 2015 decréscimo térmico entre janeiro a agosto com oscilações fluindo de 0,1°C a 2,1°C, estas flutuações foram ocasionadas pelos sistemas regionais e locais, a ausência de focos de incêndios, ocorrência de chuvas esparsas e moderadas (Medeiros et al., 2021).

Figura 4. Variabilidade térmica mínima bianual (2014-2015) e seu comparativo climatológico no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



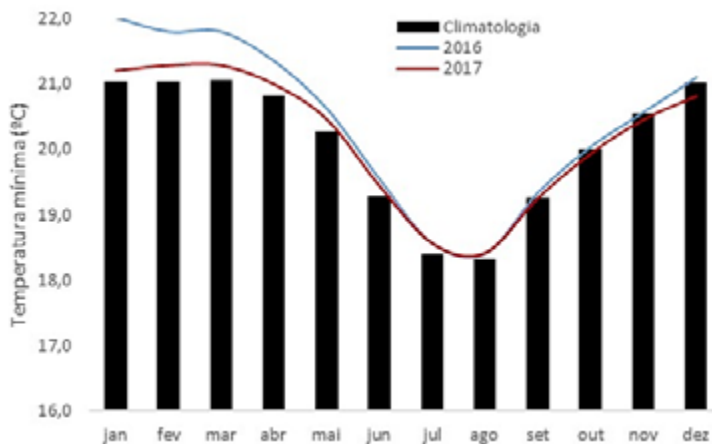
Fonte: O Autor.

Segundo Nobre et al. (2005) a temperatura global do planeta à superfície aumentou progressivamente nos últimos 120 anos, com uma variação superior 0,5 °C. Na última década ocorreram os três anos mais quentes dos últimos 1.000 anos da história recente da Terra. Segundo relatórios do IPCC (2014) e IPCC (2007) reforçaram esses fatos, indicando como provável acréscimo na temperatura a consequência de ações antrópicas. O que corrobora com os resultados apresentados.

Na Figura 5 tem-se as variabilidades térmicas mínima bianual (2016-2017) e seu comparativo climatológico. O ano d 2016 registra oscilações térmicas fluindo de 0,1°C a 1,0°C, nos meses de janeiro a agosto, os índices térmicos mensais superaram os climatológicos, entre setembro a dezembro registra-se igualdades de valores térmicos, resultados similares foram detectados por Marengo et al (2022).

Os sistemas de meso e microescala, seguidamente das contribuições regional e local, auxiliaram nas reduções dos índices térmicos, ocasionando declínio entre janeiro a junho, acréscimo de 0,1°C em julho e agosto e igualdade térmica entre setembro a dezembro. Tais variabilidades térmicas anual, estão em conformidades com os relatórios do IPCC (2021) e IPCC (2023).

Figura 5. Variabilidade térmica mínima bianual (2016-2017) e seu comparativo climatológico no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

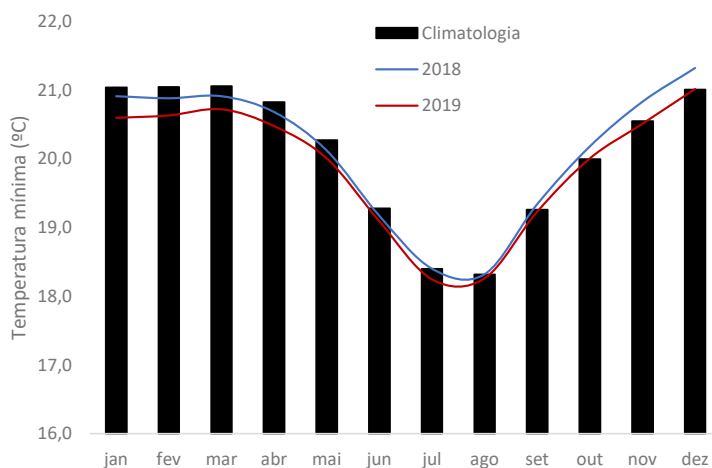


Fonte: O Autor.

Na Figura 6, observam-se as flutuabilidades do biênio (2018-2019). O ano 2018, registra oscilações térmicas inferiores a climatologia entre janeiro e setembro, com oscilação variando de 0,1°C a 0,2°C, os meses de outubro a dezembro, destaca-se acréscimo térmico superior a climatologia, para Marengo et al (2023); IPCC (2014, 2023), estas oscilações são esperadas e tem as contribuições dos feitos e causas abióticos.

Observando-se, as variabilidades do ano 2019, ver-se que entre janeiro – setembro, registrou-se redução térmicas com flutuações de 0,1°C e 0,2°C respectivamente. Entre, outubro e dezembro as flutuações térmicas igualaram-se a climatologia, resultados similares podem ser revistos nos estudos de Medeiros et al. (2021); IPCC (2021, 2023).

Figura 6. Variabilidade térmica mínima bianual (2018-2019) e seu comparativo climatológico no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

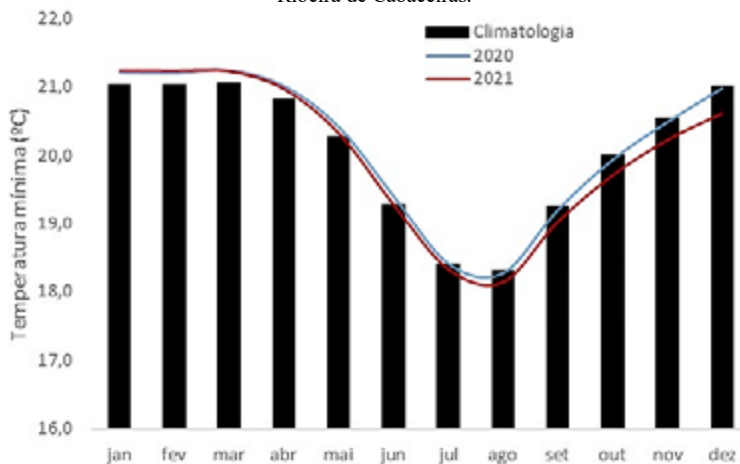


Fonte: O Autor.

Silva et al. (2023) em seu estudo confirmaram que a necessidade de realizar o monitoramento e analisar as distribuições espaços-temporais de séries de dados climatológicos térmicos devem ser realizados através de índices climáticos, visando o acompanhamento dos períodos de quente e frio em estudados, os autores utilizaram-se do teste de Mann-Kendall com a finalidade de detectar tendências hidro climáticas na área estudada, gerando informações que venham a auxiliar o setor dos recursos hídricos e agrícola.

No biênio 2020–2021, observa-se acréscimo térmico entre janeiro e abril, estabilidade entre maio e julho, e leve aumento entre agosto e dezembro. Em 2020, os valores ficaram acima da climatologia, diferentemente de 2021, que registrou valores levemente inferiores.

Figura 7. Variabilidade térmica mínima bianual (2020-2021) e seu comparativo climatológico no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

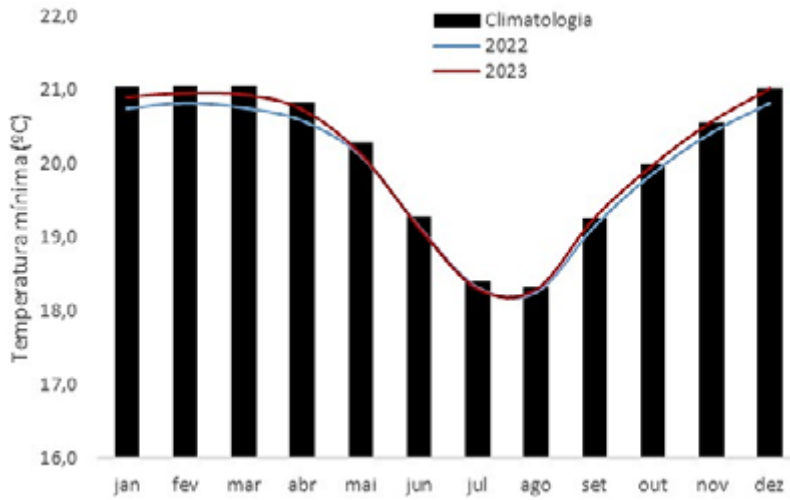


Fonte: O Autor.

Na Figura 8, tem-se as variabilidades térmicas mínimas bianuais (2022-2023) e seu comparativo climatológico (2008-2023) no Povoado Ribeira de Cabaceiras. A variabilidade bianual fluiu abaixo ou próximo da climatológica, ocasionadas pelas atuações dos efeitos locais e regionais, contribuições dos efeitos dos sistemas de meso e microescala. Os estudos de Marengo et al. (2021), França (2021) e Santos e Oliveira (2017), vem a contribuir com as discussões.

Com Tn climatológica entre 2008 a 2023 de 20,1°C, (Figura 9), destaca-se os anos com Tn próximo a média 2009 e 2018. Os anos 2010; 2014 a 2017 e 2020 com temperatura mínima superior a climatologia, os demais anos em estudo registrou Tn inferiores a climatologia.

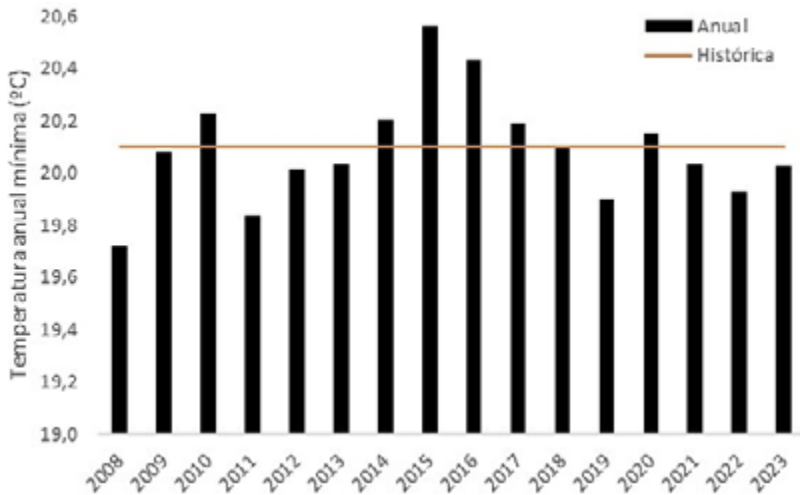
Figura 8. Variabilidade térmica mínima bianual (2022-2023) e seu comparativo climatológico no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Sobre a repartição térmicas Marengo et al. (2022) afirmaram que o elemento favorece a colocação para o desenvolvimento das atividades humanas, sejam elas pessoais ou agrícolas. Resultados análogos foram debatidos no estudo de Medeiros et al. (2021); França (2021).

Figura 9. Variabilidade térmica mínima anual (2008-2023) e seu comparativo climatológico no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

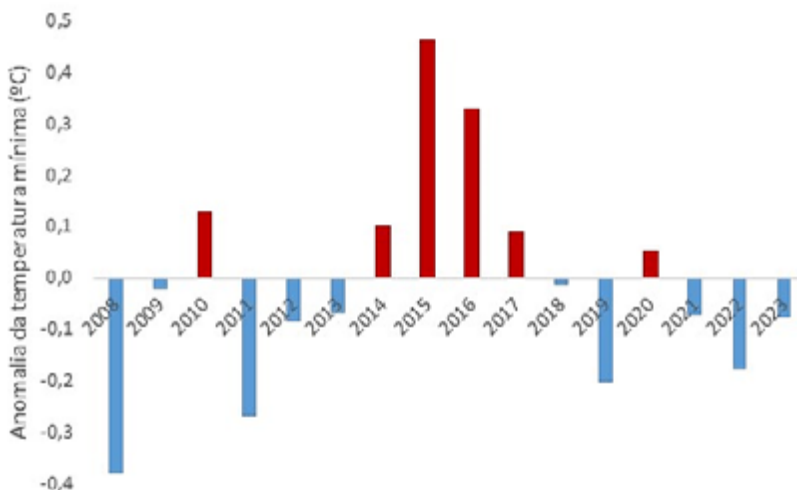
As anomalias térmicas mínimas anuais (2008-2023), para o Povoado Ribeira de Cabaceiras, ilustradas na Figura 10, fluíram de $-0,1^{\circ}\text{C}$ nos anos de 2012; 2013; 2021 e 2023. Com flutuação de $0,1^{\circ}\text{C}$ os anos de 2010; 2014; 2017 e 2020. Não se registrou oscilações e/ou flutuações nos anos de 2009 e 2018. Os anos 2019 e 2022 registrou

declínio de $-0,2^{\circ}\text{C}$, o ano de 2011 com $-0,3^{\circ}\text{C}$ e o ano de 2008 com $-0,4^{\circ}\text{C}$. Os anos 2015 e 2016 registraram anomalias positivas de $0,5^{\circ}\text{C}$ e $0,3^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

Segundo o IPCC (2014, 2021) os quais destacam as variabilidades das temperaturas global, medida deste 1860 com aproximadamente 6000 estações meteorológicas de superfície, com correção para efeitos de “ilhas de calor urbanas” indicaram acréscimo médio na variabilidade da temperatura no século XX de $0,6^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, sendo que de 1906 - 2005 a tendência foi $0,74^{\circ}\text{C} \pm 0,18^{\circ}\text{C}$, com maior incremento a partir de 1956. Deve-se ressaltar que essa tendência varia espacialmente, sendo que no hemisfério norte e nas latitudes maiores há evidências de maior aquecimento.

Essas anomalias negativas e positivas são atribuídas às flutuações da temperatura mínima na região de estudo, que são influenciadas pelas variações climáticas regionais e locais, bem como pelas oscilações dos sistemas de meso e microescala. Estudos de Marengo et al. (2021) e os relatórios do IPCC (2021, 2023) fornecem análises que confirmam essas observações.

Figura 10. Anomalia térmica mínima anual (2008-2023) no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

CONCLUSÃO

Os resultados permitiram compreender com maior precisão as variabilidades térmicas e suas oscilações no comportamento entre os anos, contribuindo para o planejamento e a elaboração de projetos ambientais, bem como para a formulação de políticas públicas voltadas ao meio ambiente e ao clima. Compreender essas interações é essencial para análises hidrológicas e ambientais, proporcionando uma visão mais abrangente sobre os padrões de evaporação e sua influência na região estudada.

As oscilações observadas nos índices de temperatura mínima foram influenciadas por deslocamentos nos períodos chuvosos e por efeitos regionais e locais, como variações na cobertura do solo, relevo e circulação atmosférica.

Este estudo constitui uma ferramenta útil para subsidiar ações estratégicas voltadas ao gerenciamento climático, com aplicações práticas nas áreas de agropecuária, saúde pública, conforto térmico urbano e outras. A variável analisada apresenta forte

variação intermensal, com destaque para a influência combinada da latitude e altitude, que exercem dinâmicas opostas sobre os padrões térmicos da região.

REFERÊNCIAS

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 3ª ed. 1991.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, E. D. V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8, 1994. Belo Horizonte, **Anais...Belo Horizonte: SBMET**, 1, p.154-157. 1994.

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**, 10, p.140-147. 2006.

CLEMENTE, C. M. S. **Serviços ambientais e valoração dos estoques de carbono no semiárido baiano**. 2021. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Geografia-Tratamento da Informação Espacial). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2021.

FRANÇA, M. V. Climatologia do município de Amparo de São Francisco – Sergipe entre 1963-2019. **Revista Mirante**, 5(12), 25-240. 2021.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; SABOYA, L. M. F.; ARAUJO, W. R.; ROLIM NETO, F. C.; PEREIRA, M. L. F.; BRAGA, S. E. Balanço hídrico sequencial e sua respectiva erosão pluvial no município de Amparo de São Francisco – SE. **Revista Recima** 21, v. 2, p. e24243, 2021.

IPCC. Intergovernmental Painel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Summary for policymakers In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA) ed C B Field et al. (Cambridge University Press) pp 1–32. 2014.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers, in **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. edited by M. 2007.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, MASSON-DELMOTTE, V.; P. ZHAI, A.; PIRANI, S. L.; CONNORS, C.; PÉAN, S.; BERGER, N.; CAUD, Y.; CHEN, L.; GOLDFARB, M. I.; GOMIS, M.; HUANG, K.; LEITZELL, E.; LONNOY, J. B. R.; MATTHEWS, T. K.; MAYCOCK, T.; WATERFIELD, O.; YELEKÇI, R.; YU, B.; (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, p.3–32. 2021.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, H. O. PÖRTNER, D. C.; ROBERTS, E. S.; POLOCZANSKA, K.; MINTENBECK, M.; TIGNOR, A.; ALEGRÍA, M.; CRAIG, S.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, V.; MÖLLER, A. OKEM (eds.). Cambridge University Press. 2022.

LIMA, M. G. M.; MEDEIROS, R. M.; SABOYA, L. M.F. Oscilações quinquenal do balanço hídrico no povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**. 2024.

MACHADO, T. S.; NEVES, S. M. A. S.; SEABRA J. R. S.; NEVES, R. J. Zoneamento agroclimático do melão na região sudoeste de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Climatologia**. 13(20). 2017.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, 27, 149-175. 2008.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

MARENGO, J. A.; ALCANTARA, E.; CUNHA, A. P.; SELUCHI, M.; NOBRE, C. A.; DOLIF, G.; GONCALVES, D.; ASSIS DIAS, M.; CUARTAS, L. A.; BENDER, F.; RAMOS, A. M.; MANTOVANI, J. R.; ALVALÁ, R. C.; MORAES, O. L. Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25-28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. **Weather and Climate Extremes**, v. 39, p. 100545, 2023.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; CUARTAS, L. A.; DEUSDARÁ LEAL, K. R.; BROEDEL, E.; SELUCHI, M. E.; MICHELIN, C. M.; DE PRAGA BAIÃO, C. F.; CHUCHÓN ÂNGULO, E.; ALMEIDA, E. K.; KAZMIERCZAK, M. L.; MATEUS, N. P. A.; SILVA, R. C.; BENDER, F. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: Characterization, Causes, and Impacts. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 1-20, 2021.

MARENGO, J. A.; JIMENEZ, J. C.; ESPINOZA, J.; CUNHA, A. P.; ARAGÃO, L. E. O. Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia-Cerrado transition zone. **Scientific Reports**, v. 12, p. 457, 2022.

MEDEIROS, R. M.; SILVA, V. P.; MORAES, A. S.; PISCOYA, V.; FRANCA, M. V.; SABOYA, L. M. F. Decadal Precipitation in São Bento Una - Pernambuco, Brazil. **ijrm.humanjournals.com**. 19, 42 - 56. 2021.

MEDEIROS, R.M.; CAVALCANTI, E.P. Tendência climática das temperaturas do ar no município de Bom Jesus do Piauí, Brasil. **Research, Society and Development**. 9(7):1-23, e315973882. 2020.

MENEZES, F. P.; FERNANDES, L. L.; ROCHA, E. J. P. O uso da estatística para regionalização da precipitação no estado do Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**. 11(16). 2015.

NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D.; OYAMA, M. D. Mudança ambiental no Brasil: O Impacto do Aquecimento Global nos Ecossistemas da Amazônia e na Agricultura. **Scientific American Brasil**, v. 80, p. 70-75, 2005.

RAMOS, H. C.; DALLACORT, R.; NEVES, S. M. A. S.; DALCHIAVON, F. C.; SANTI, A.; VIEIRA, F. F. Precipitação e temperatura do ar para o estado de Mato Grosso utilizando krigagem ordinária. **Revista Brasileira de Climatologia**. 13(20). 2017.

SALES, M. C. L.; RAMOS, V. M. **Caracterização ambiental das áreas sob influência do reservatório de Bocaina (PI) com base na compartimentação geomorfológica**. Carta CEPRO, Teresina, v. 18, n. 1, p. 149-161, 2000.

SANTOS FERREIRA, P. dos; SOUZA, W. M. de; SILVA, J. F. da; GOMES, V. P. Variabilidade Espaço-Temporal das Tendências de Precipitação na Mesorregião Sul Cearense e sua Relação com as Anomalias de TSM. **Revista Brasileira De Meteorologia**, 33(1), 141–152. 2018.

SANTOS, A. L. S.; SILVA, H. S. da; SILVA, J. R. S.; STOSIC, T. Propriedades Multifractais da Temperatura do ar do Ar Diária no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.34, n.1, p.23-31, 2019.

SANTOS, C. A. C.; OLIVEIRA, V. G. Trends in Extreme Climate Indices for Pará State, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, 13-24, 2017.

SILVA, M. C.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; FRANÇA, M. V. Tendência pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio Ipojuca - PE, Brasil. **Revista Observatorio de la economia latino-americano**, Curitiba. V.21, n.10, 17065-17085. 2023.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução à Climatologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

Capítulo 9 - OSCILAÇÕES ANÔMALAS TÉRMICAS MÍNIMAS NO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS-PB, BRASIL

Raimundo Mainar de Medeiros
Romildo Morant de Holanda
Moacyr Cunha Filho
Ana Karolina Peres de Melo Silva
Wagner Rodolfo de Araújo

RESUMO

As flutuações térmicas atmosféricas têm se destacado nas últimas décadas pelo aumento das anomalias em temperaturas extremas e médias globais. Este capítulo tem como objetivo analisar e compreender as oscilações anômalas da temperatura mínima do ar no Povoado Ribeira de Cabaceiras – PB, no período de 2008 a 2023, detalhando sua variabilidade mensal e anual. A série de temperaturas mínimas foi estimada pelo software Estima_T. Em seguida, calculou-se, em planilha eletrônica, a climatologia mensal (2008–2023) e as anomalias anuais, identificando desvios positivos e negativos ao longo da série histórica. Também foram plotadas as anomalias anuais em relação à média climatológica do período, permitindo visualizar padrões de aquecimento e resfriamento. A relevância do estudo reside em fornecer subsídios técnicos para medidas de adaptação e mitigação aplicáveis à agricultura, agropecuária, agronegócio e manejo hídrico local, incluindo estratégias de captação, armazenamento e represamento de água (cisternas de alvenaria enterradas, cisternas plásticas, sistemas tipo “calçadão”, tanques de pedra, placas pré-moldadas e barragens subterrâneas), com vistas ao apoio direto às comunidades do semiárido. A análise das oscilações anômalas térmicas na série climatológica revelou ampla variação temporal, com alternância entre períodos prolongados de anomalias negativas e positivas. As flutuações sazonais e interanuais das temperaturas mínimas refletem tanto a influência das estações do ano quanto a variabilidade na atuação de sistemas sinóticos em anos com regimes chuvosos e secos contrastantes.

Palavras-Chave: Análise climática, Mitigação ambiental, Sistemas de captação, Variabilidade sazonal, Mudanças térmicas.

ANOMALOUS MINIMUM TEMPERATURE FLUCTUATIONS IN THE VILLAGE OF RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRAZIL

ABSTRACT

Atmospheric thermal fluctuations have become prominent in recent decades due to the increase in anomalies in both extreme and average global temperatures. This chapter aims to analyze and understand the anomalous fluctuations in minimum air temperature in the village of Ribeira de Cabaceiras – PB, from 2008 to 2023, detailing their monthly and annual variability. The minimum temperature series was estimated using the Estima_T software. Subsequently, monthly climatology (2008–2023) and annual anomalies were calculated in a spreadsheet, identifying positive and negative deviations throughout the historical series. Annual anomalies were also plotted against the climatological average of the period, allowing visualization of warming and cooling patterns. The relevance of this study lies in providing technical support for adaptation and mitigation measures

applicable to agriculture, livestock, agribusiness, and local water management, including strategies for water collection, storage, and retention (such as underground masonry cisterns, plastic cisterns, “calçadão” systems, rock tanks, pre-molded slabs, and underground dams), aimed at directly supporting semi-arid communities. The analysis of thermal anomalies in the climatological series revealed broad temporal variation, with alternation between prolonged periods of negative and positive anomalies. Seasonal and interannual fluctuations in minimum temperatures reflect both the influence of the seasons and the variability in the activity of synoptic systems during years with contrasting rainy and dry regimes.

Keywords: Climate analysis, Environmental mitigation, Water harvesting systems, Seasonal variability, Thermal changes.

INTRODUÇÃO

As flutuações dos climas regionais e locais têm gerado preocupações crescentes quanto ao condicionamento térmico em sistemas produtivos, como fruticultura, horticultura, agricultura e avicultura, especialmente nas instalações onde animais e culturas são confinados e manejados. Evidências indicam que essas atividades requerem condições mínimas de conforto térmico para que possam se desenvolver de forma saudável e eficiente (Branco et al., 2021).

Segundo Marengo e Espinoza (2015), as oscilações térmicas mínimas tendem a se intensificar no futuro, com acréscimos positivos, influenciando diretamente os sistemas atmosféricos transientes e sendo moduladas por fatores locais, regionais e pelas trocas de calor. As anomalias climáticas que consistem em desvios significativos em relação aos valores médios históricos, podem se manifestar como extremos de precipitação (muito acima ou abaixo da média), desencadeando desde enchentes até severos períodos de estiagem (Pereira et al., 2020). Estudos do IPCC (2022, 2023) e de Holanda e Silva (2018) corroboram esses achados.

Santos e Oliveira (2017), ao analisarem projeções térmicas para o Brasil com cenários de aumento de 1,5°C, 2,0°C e 4,0°C, constataram que as regiões Norte e Nordeste deverão enfrentar os maiores impactos, com elevação de até 75% nos dias extremamente quentes. Medeiros e Cavalcanti (2020), ao estudarem as temperaturas extremas em Bom Jesus – PI (1960–2018), identificaram padrões sazonais e tendências preocupantes, com forte aplicabilidade no planejamento agrícola e no agronegócio, validando seus modelos com alto desempenho estatístico.

Para Silva et al. (2023), o monitoramento de séries térmicas deve ser realizado por meio de índices climáticos, a fim de acompanhar tendências de aquecimento ou resfriamento. Utilizando o teste de Mann-Kendall, os autores detectaram tendências hidroclimáticas relevantes para a gestão dos recursos hídricos e da agricultura.

Conforme o IPCC (2013, 2022, 2023) e estudos de Assad e Pinto (2008), mudanças climáticas globais estão afetando a produção de alimentos e aumentando áreas de vulnerabilidade. Souza et al. (2015) demonstraram, em estudos sobre telhados verdes, que o sombreamento e a absorção da energia solar contribuem para o conforto térmico e a manutenção da umidade do solo, atuando como reguladores térmicos.

O desenvolvimento urbano também tem influenciado negativamente o equilíbrio térmico, principalmente pela formação de ilhas de calor, resultado das propriedades

físicas dos edifícios e da emissão de calor pelas atividades humanas (Rocha et al., 2011; Parker, 2010).

Segundo Smith et al. (2008), a temperatura média global aumentou 0,74°C entre 1906 e 2005, impulsionada por gases de efeito estufa e aerossóis. Desde a década de 1950, eventos extremos de temperatura vêm se tornando mais frequentes e intensos, conforme observações de Collins et al. (2009) e Reguero et al. (2019). Na América do Sul, as pesquisas se concentram em regiões específicas como a Amazônia (Lopart et al., 2018), a Bacia do Prata (Bettolli e Souza, 2018; Montroull et al., 2018), o sul do continente (Cordeiro et al., 2016; Kayano et al., 2017; Detzer et al., 2019), e também nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil (Coelho et al., 2016; Oliveira et al., 2017).

Araújo et al. (2020) observaram que, em Bom Jesus – PI, as temperaturas mínimas tendem a aumentar, enquanto as máximas permanecem estáveis, implicando uma elevação da média e da amplitude térmica. Constatou-se ainda uma relação inversa entre temperatura e altitude, e direta com a longitude, sendo a temperatura mínima a variável com maior tendência de elevação e consistência espacial.

Braga et al. (2019), ao analisarem séries históricas de precipitação e temperatura mínima em São Bento do Una – PE (1920–2016), destacaram a importância de tais estudos para o planejamento de ações mitigadoras na agropecuária e nos sistemas de abastecimento de água. Suas análises mostraram que as irregularidades pluviais estão ligadas a sistemas meteorológicos regionais, como a Zona de Convergência Intertropical, que influencia eventos extremos, inclusive desastres naturais.

Diante desse contexto, este capítulo tem por objetivo analisar e compreender as flutuações anômalas da temperatura mínima do ar entre 2008 e 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras, evidenciando sua variabilidade mensal e anual, com foco na caracterização temporal das oscilações térmicas e suas implicações para o ambiente e a sociedade local.

METODOLOGIA

Os dados de temperatura mínima utilizados neste estudo referem-se ao período de 2008 a 2022. Esses dados foram estimados por meio do software Estima_T (Cavalcanti e Silva, 1994; Cavalcanti et al., 2006), disponível no site da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

A estimativa das temperaturas mínimas mensais baseou-se na determinação dos coeficientes da função quadrática, conforme Cavalcanti et al. (2006), que relaciona as temperaturas às coordenadas geográficas locais (longitude, latitude e altitude), conforme demonstrado na Equação 1.

$$T = C_0 + C_1\lambda + C_2\varnothing + C_3h + C_4\lambda_2 + C_5\varnothing_2 + C_6h_2 + C_7\lambda\varnothing + C_8\lambda h + C_9\varnothing h \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

$C_0, C_1, \dots, C_9$: constantes;

$\lambda, \lambda_2, \lambda\varnothing, \lambda h$: longitude;

$\varnothing, \varnothing_2, \lambda\varnothing$: latitude;

$h, h_2, \lambda h, \varnothing h$: altura.

Também estimaram a série temporal de temperatura, adicionando a esta anomalia de temperatura do Oceano Atlântico Tropical (Silva et al., 2006).

$$T_{ij} = T_i + AAT_{ij} \quad i=1,2,3, \dots, 12$$

Em que:

$i = 1, 2, 3, \dots, 12$;

$j = 2008, 2009, \dots, 2022$.

Utilizou-se uma planilha eletrônica para o cálculo das médias mensais de temperatura mínima entre 2008 e 2023, permitindo a análise de suas flutuações. A partir dessas médias, foram plotadas as variabilidades anômalas mensais e anuais, com o objetivo de identificar as oscilações positivas e/ou negativas ao longo da série. Também foram construídos gráficos de variabilidade anual e sua climatologia correspondente.

O cálculo das anomalias das temperaturas mínimas mensais e anuais foi realizado de acordo com a Equação 2, considerando os desvios em relação à média histórica do período analisado.

$$ATx = (\text{Temp mín reg} - \text{Temp mín clima}) \quad (\text{Eq. 2})$$

ATx: Anomalia das Temperaturas mínima;

Temp min reg: temperatura mínima registrada;

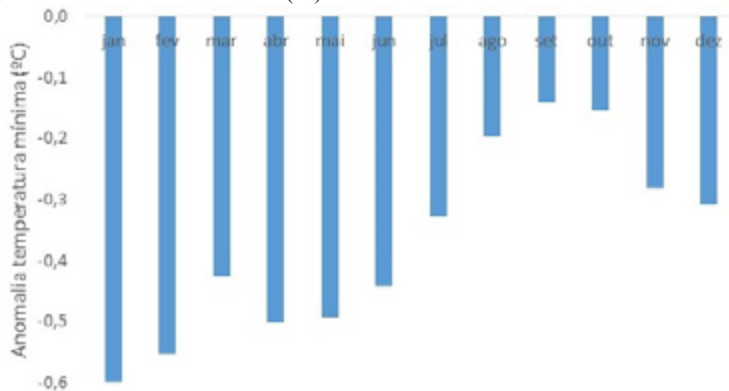
Temp min clima: temperatura mínima climatológica.

RESULTADO E DISCUSSÃO

O aumento na frequência de episódios térmicos extremos está associado às mudanças climáticas globais (Trenberth et al., 2007; Marengo et al., 2007). Eventos extremos de curta duração têm recebido atenção crescente por parte dos climatologistas, uma vez que modelos climáticos indicam possíveis elevações na frequência e intensidade desses eventos (Marengo et al., 2016).

As anomalias da temperatura mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$) para o ano de 2008 estão representadas na Figura 1. Observam-se anomalias negativas entre janeiro ($0,59^{\circ}\text{C}$) e abril ($0,20^{\circ}\text{C}$). Os menores valores ocorreram nos meses iniciais, enquanto os máximos foram observados entre agosto e outubro. Fatores como cobertura de nuvens, radiação solar reduzida, índices pluviométricos dentro da normalidade, solo coberto por vegetação rasteira, ventos e sistemas atmosféricos de meso e microescala contribuíram para essas anomalias.

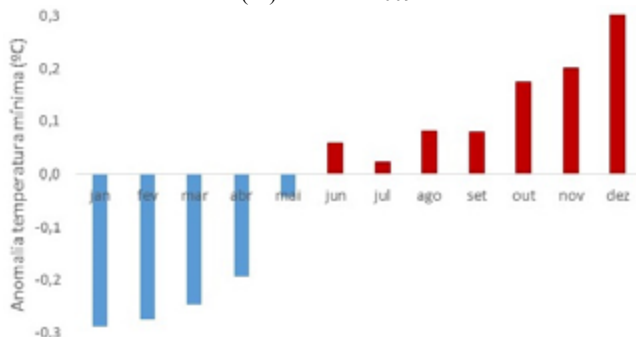
Figura 1. Anomalia térmica mínima ($^{\circ}\text{C}$) do ano de 2008 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Em 2009 (Figura 2), registraram-se anomalias negativas de janeiro a maio, variando entre $0,13^{\circ}\text{C}$ e $0,28^{\circ}\text{C}$, influenciadas por chuvas, cobertura de nuvem, solo úmido, movimentos descendentes e baixa radiação solar. De junho a dezembro, prevaleceram anomalias positivas ($0,02^{\circ}\text{C}$ a $0,3^{\circ}\text{C}$), ocasionadas por troca de calor, focos de incêndio, alta insolação e baixa cobertura de nuvem. Os relatórios do IPCC (2021, 2022) corroboram essas observações.

Figura 2. Anomalia térmica mínima ($^{\circ}\text{C}$) do ano de 2009 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



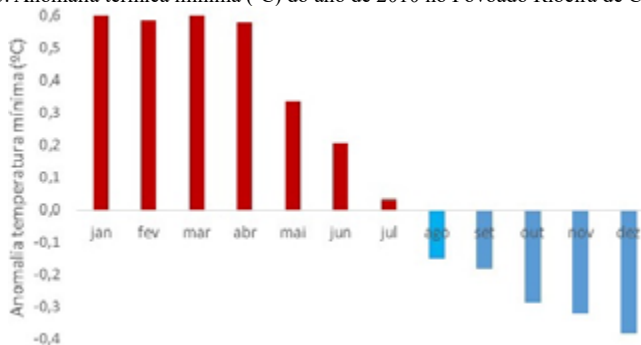
Fonte: O Autor.

As oscilações anomalias térmicas, assim como seus efeitos sociais, são distintas em cada região do planeta e podem diferir nas variações anomalia global” (Minuzzi et al., 2011).

O ano de 2010, e suas anomalias térmicas mínimas ($^{\circ}\text{C}$), foram ocasionadas pelas variabilidades climáticas positivas entre os meses de janeiro a julho, com seus máximos em janeiro e fevereiro e o mínimo em julho, que fluíram de $0,02^{\circ}\text{C}$ a $0,6^{\circ}\text{C}$, estes incrementos positivos decorreram da troca de calor, ausência de chuvas, baixa cobertura de nuvem, alta incidência da insolação e radiação, aumento de focos de queimadas e incêndio insolados de alta magnitude, deixando a madrugada com maior sensação de calor.

As anomalias negativas fluíram de $0,07^{\circ}\text{C}$ (agosto) a $0,36^{\circ}\text{C}$ (dezembro), os elementos climáticos fluíram entre as normalidades ocasionado as madrugadas com sensações de frio. O IPCC (2022) e Medeiros (2022) vem a corroborar com as discussões e resultados.

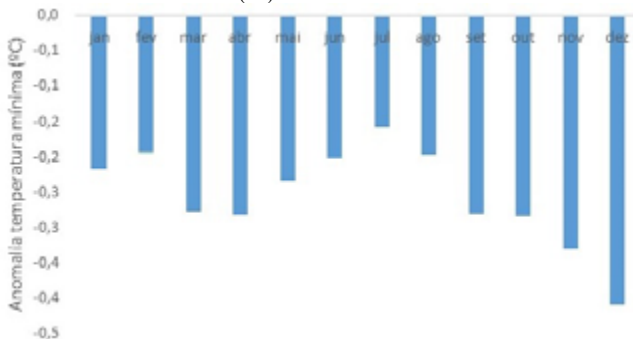
Figura 3. Anomalia térmica mínima ($^{\circ}\text{C}$) do ano de 2010 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Índices pluviiais dentre a normalidade, solo coberto, redução da radiação solar, alta cobertura de nuvem seguidamente da contribuição do vento e dos sistemas de meso e microescala, ocasionaram anomalias as referidas oscilações, ocasionaram anomalias negativas (Figura 4), fluindo de $-0,4^{\circ}\text{C}$ (dezembro) a $-0,18^{\circ}\text{C}$ (julho). Conforme resultado do IPCC (2021, 2022, 2023) estas variabilidades vem registrando nas oscilações térmicas mínimas para anos isolados.

Figura 4. Anomalia térmica mínima ($^{\circ}\text{C}$) do ano de 2011 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



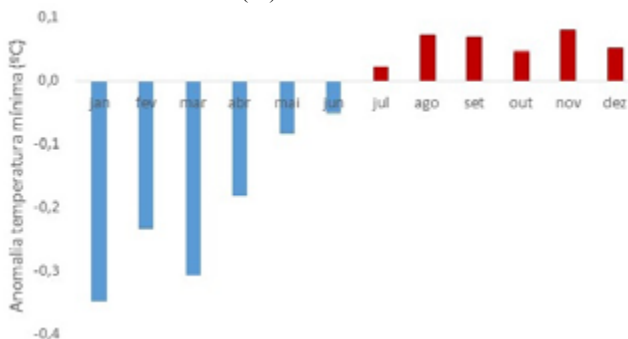
Fonte: O Autor.

A caótica ocupação do ambiente urbano em determinada região e/ou local, removendo a vegetação nativa e impermeando as ruas com asfalto, edificações verticais, e o aumento de número de veículos, origina as chamadas ilhas de calor (Nascimento e Silva, 2023). Sendo assim, ocasionando impactos diretamente na ascensão térmica do ar de uma determinada localidade ou região, principalmente nas flutuações térmica mínima do ar.

As análises local e regional, atual da temperatura é de fundamental importância em estudos que visam, projetar cenários climáticos futuros e prever possíveis impactos relacionados às mudanças climáticas.

Anomalia térmica mínima ($^{\circ}\text{C}$) do ano de 2012 (Figura 5), registrou anomalias negativas fluindo de $0,02^{\circ}\text{C}$ (junho) a $0,33^{\circ}\text{C}$ (janeiro), com oscilações positivas suavizadas oscilando de $0,01^{\circ}\text{C}$ a $0,07^{\circ}\text{C}$. As similaridades do IPCC (2022) França e Medeiros (2020) corroboram com as discussões.

Figura 5. Anomalia térmica mínima ($^{\circ}\text{C}$) do ano de 2012 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

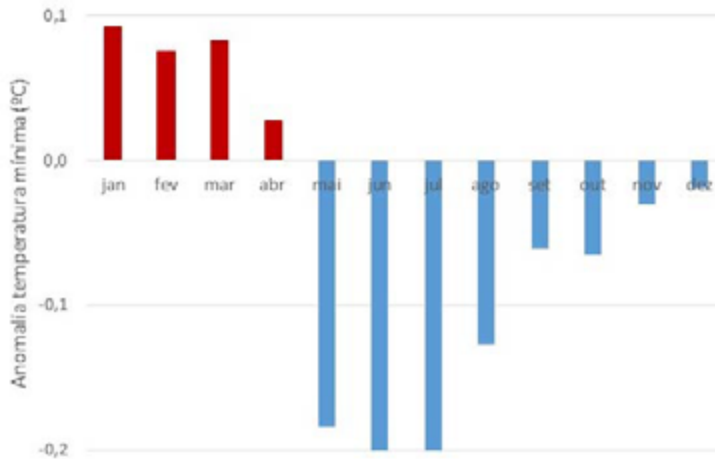


Fonte: O Autor.

O NEB é uma área problemáticas em termos (a)bióticos, pelas suas características físicas e das diversidades de ecossistemas presentes, em meio a mata atlântica, caatinga e demais fragmentos de outros ecossistemas. A área semiárida do NEB, corresponde a 53% do território nordestino, que se destaca como uma região em que a precipitação é irregular e má distribuídas, com altas variabilidade térmica no decorrer dos meses (Santos Ferreira et al. 2018).

As anomalias térmicas mínimas ($^{\circ}\text{C}$) do ano de 2013 no Povoado Ribeira de Cabaceiras, foram ocasionadas, por chuvas moderadas, troca de calor, movimentos verticais ascendentes, cobertura de nuvens acima da normalidade, incidência de insolação e radiação reduzidas, transporte de vapor e umidade, ocasionado anomalias térmicas negativas entre maio a dezembro. Nos meses de janeiro a abril registrou-se anomalias positivas menores que $0,1^{\circ}\text{C}$, ocasionadas pela não contribuições dos efeitos de meso e microescala, seguidamente dos bloqueios atmosféricos, resultados similares podem ser revistos em Filho et al. (2024).

Figura 6. Anomalia térmica mínima ($^{\circ}\text{C}$) do ano de 2013 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



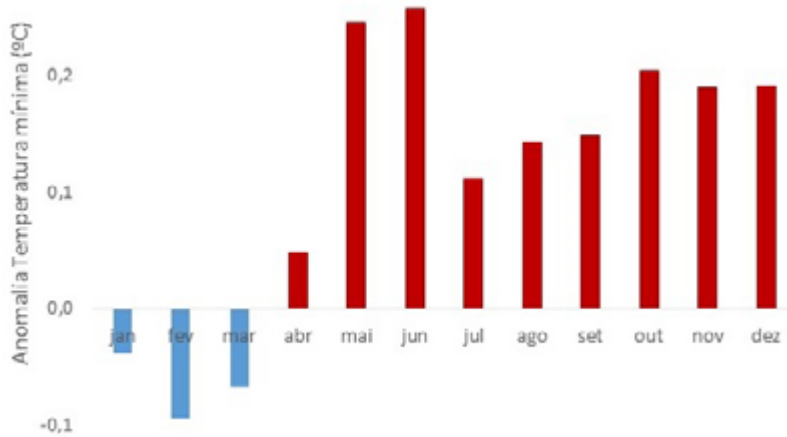
Fonte: O Autor.

Filho et al. (2024), em seus estudos confirmaram as variabilidades anômalas térmicas, para a área de estudo, onde a predominância das anomalias positivas fora ocasionada pelos bloqueios atmosféricos, nos sistemas de meso e microescala.

O ano de 2014, (Figura 7) registrou anomalias positivas, fluindo de $0,05^{\circ}\text{C}$ (abril) a $0,28^{\circ}\text{C}$ (junho), com apenas três meses (janeiro, fevereiro e março) de anomalias negativas, com baixa oscilação, Resultados similares foram detectados em Filho et al. (2024).

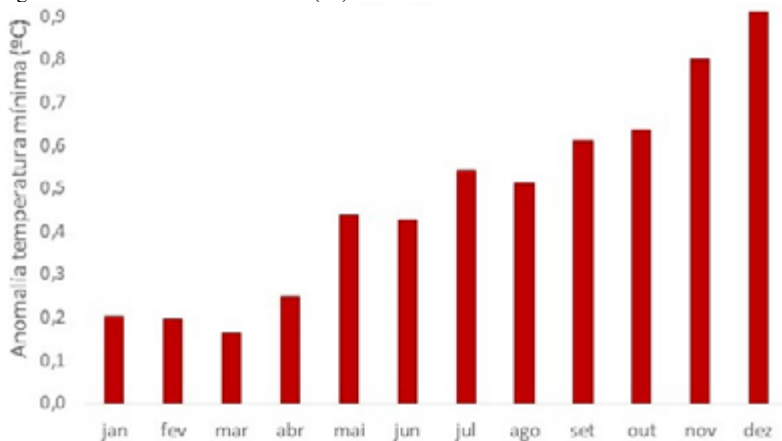
Ausência de chuvas, movimentos verticais descendentes, falta de cobertura de nuvens, incidência de insolação e radiação acima dos padrões normais, não contribuição no transporte de vapor e umidade, ocasionado anomalias positivas de janeiro a dezembro. O Estudo de Filho et al (2024) corroboram com as discussões.

Figura 7. Anomalia térmica mínima (°C) do ano de 2014 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

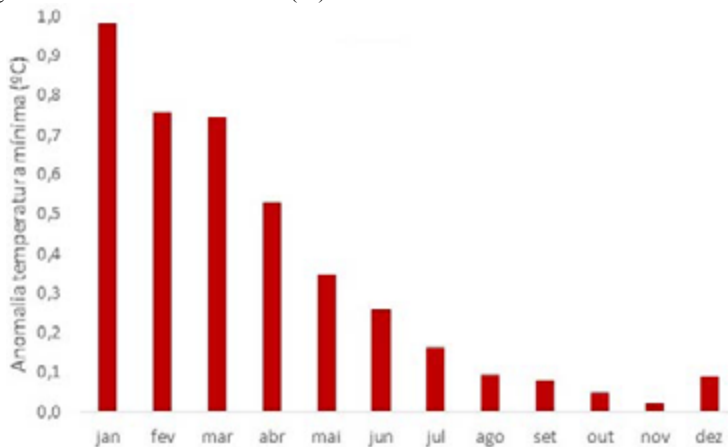
Figura 8. Anomalia térmica mínima (°C) do ano de 2015 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Na figura 9 tem-se as flutuações das anomalias da temperatura mínima (°C) do ano de 2016 no Povoado Ribeira de Cabaceiras. Onde suas anomalias foram todas positivas, os auxílios pluviais foram de baixa insignificância onde seus valores pluviais com má distribuição e irregularidade fluíram abaixo de média (Marengo et al., 2021; Medeiros 2020), as incidências de queimadas e focos de calor, insolação e radiação acima dos padrões normais contribuíram para acréscimo térmico neste ano.

Figura 9. Anomalia térmica mínima (°C) do ano de 2016 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Faustino et al. (2021), mostraram que o possibilitar a incorporação de informações na tomada de decisão por parte dos produtores, da fruticultura, hortaliça, agrícola e avícola auxiliando para melhoria do bem-estar, e consequentemente, aumentando suas produções.

O ano 2017 (Figura 10), registrou nove meses de anomalias positivas, ocasionadas pela má distribuição pluvial, aumento na troca do calor, solo descoberto, incidência direta da insolação e radiação, deixando as madrugadas mais quentes e secas (Marengo et al., 2021; França e Medeiros, 2022).

Figura 10. Anomalia térmica mínima (°C) do ano de 2017 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

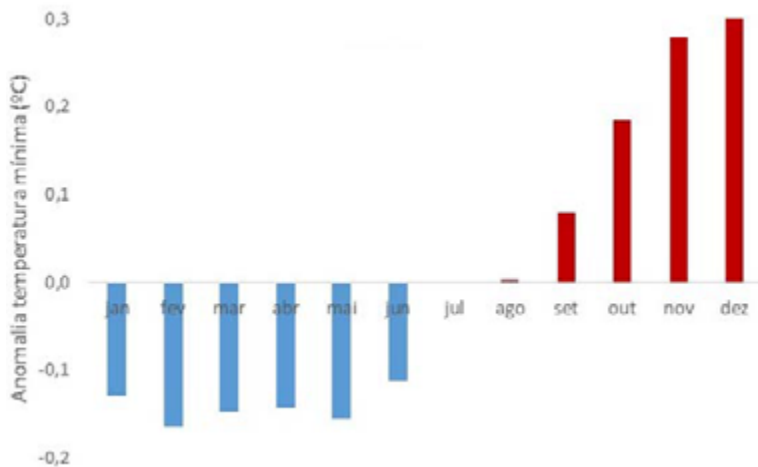


Fonte: O Autor.

As anomalias térmicas mínima (°C) do ano de 2018, está demonstrada na figura 11, para o Povoado Ribeira de Cabaceiras. Destaca-se que nos meses de janeiro a junho registraram-se anomalias negativas fluindo de 0,99°C a 0,13°C, tais flutuabilidades foram ocasionadas pela ocorrência pluvial, aumento da cobertura de nuvem, rebaixamento da insolação e radiação e a contribuição do vento na direção nordeste, transportando umidade

e vapor (Marengo et al., 2011; Medeiros 2018). As anomalias positivas fluíram de agosto a dezembro e foram acarretadas pelo contrário descrito acima.

Figura 11. Anomalia térmica mínima (°C) do ano de 2018 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

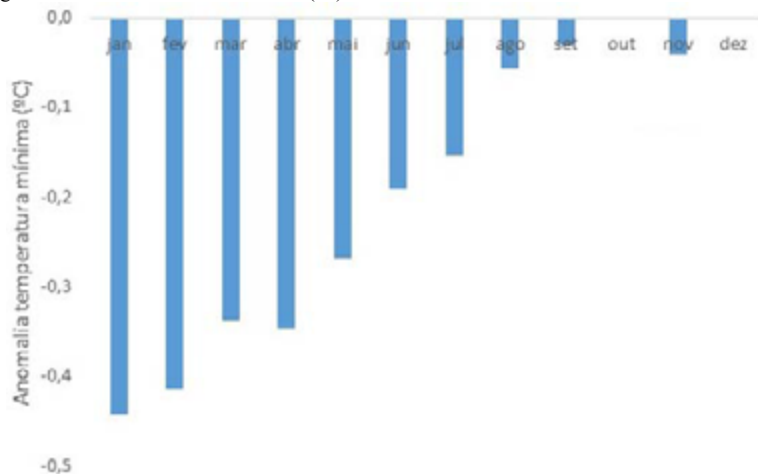


Fonte: O Autor.

O ano de 2019 tem suas anomalias da temperatura mínima (°C) representada na Figura 12, onde se observam anomalias negativas fluindo de -0,45°C (janeiro) a -0,12°C (Setembro). Os meses de outubro e dezembro não se registraram anomalias

Estas oscilações negativas foram ocasionadas pelas flutuações na contribuição do vento e dos sistemas de meso e microescala, solo coberto por plantas rasteiras e de pequeno porte, auxílio da cobertura de nuvem, redução da radiação solar, índices pluviiais entre a normalidade, conformes resultados detectados por Medeiros (2018) e França e Medeiros (2020).

Figura 12. Anomalia térmica mínima (°C) do ano de 2019 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



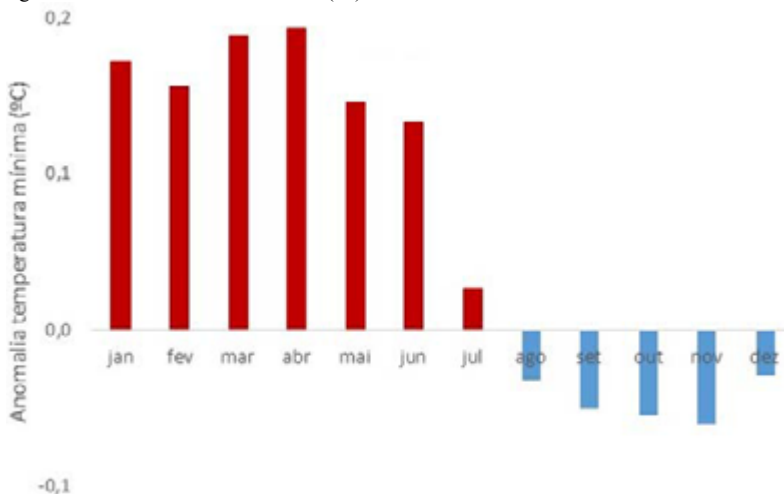
Fonte: O Autor.

Sarnighausen et al. (2024) destacam a ampliação progressiva da carga térmica ambiental nos percursos dos anos, o que acarreta em uma alerta para os sistemas de produção, da fruticultura, horta, agrícola e avícola, ocasionando maior incidência de estresse térmico causado pelo calor.

Baêta e Souza (2010) mostrou que os elementos climáticos que compõe o ambiente térmico animal, vegetal e humano, são regidos pela variação da umidade relativa, temperatura, movimentação do ar e radiação, provocando ações (in)diretas sobre os seres animais, afetando o desempenho produtivo, reprodutivo e comportamental.

Com anomalias positivas nos meses de janeiro a julho, fluindo de 0,02°C a 0,2°C, e entre agosto a dezembro do ano de 2020, as anomalias térmicas negativas registraram oscilações de 0,02°C a 0,1°C, (Figura 13), suas flutuações se devem aos sistemas de meso e microescala, os quais foram ativados com os auxílios, da redução da cobertura de nuvens, incidência da insolação e radiação, focos de incêndios e queimadas, ressecamento do solo. Segundo o IPCC (2022, 2023) e Medeiros (2022), apresentam similaridades de resultados.

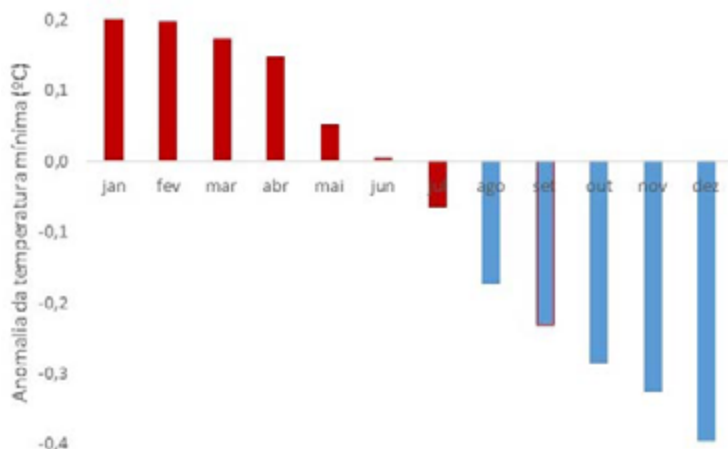
Figura 13. Anomalia térmica mínima (°C) do ano de 2020 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

As anomalias térmicas mínimas (°C) do ano de 2021, representada na figura 14, registraram anomalias positivas entre janeiro a julho, e negativas de agosto a dezembro, os fatores ocasionadores destas flutuações foram, troca de calor, auxílio pluvial, mesmo irregular e má distribuído, bloqueios atmosféricos na componente meridional do vento, ausência e/ou presença de queimadas e focos de calor, radiação solar, e s efeitos local e regional. Resultados similares foram detectados por França e Medeiros (2022); IPCC (2023).

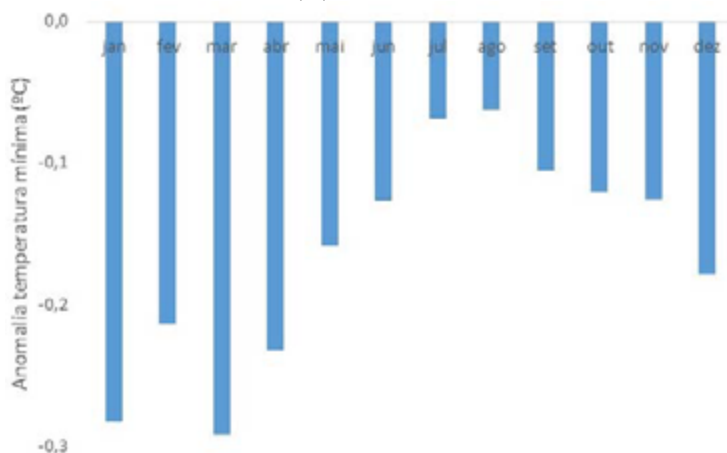
Figura 14. Anomalia térmica mínima (°C) do ano de 2021 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Na figura 15 registra-se anomalia térmica mínima (°C) do ano de 2022, ocasionadas pelas variações na incidência da radiação solar, cobertura de nuvens e solo, intensidade do vento e ocorrências de chuvas esparsas e irregulares e má distribuídas, ocasionando variabilidades térmicas fluindo de 0,15°C a 0,28°. Destaca-se os meses de julho a setembro como as menores anomalias, dezembro, janeiro, março e abril como os de maiores anomalias negativas. Resultados similares que corroboram com as discussões foram detectados por Medeiros (2018); França e Medeiros (2020).

Figura 15. Anomalia térmica mínima (°C) do ano de 2022 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

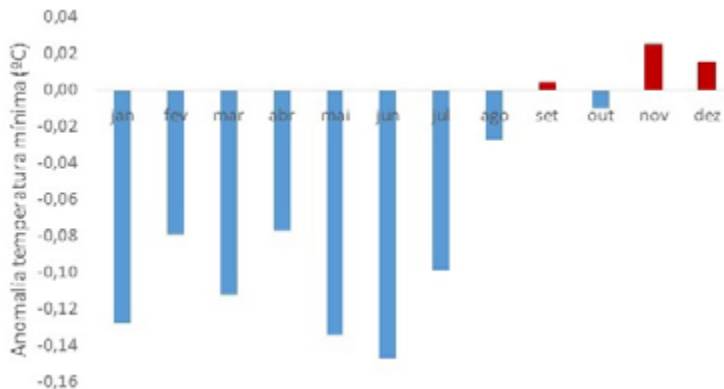


Fonte: O Autor.

As anomalias da temperatura mínima (°C) do ano de 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras (Figura 16). Detectou variabilidades negativas fluindo de -0,1°C a 0,03°C, compreendida entre os meses de janeiro a agosto e outubro. Os sistemas de meso e microescala em não atividades fluíram irregularmente e ocasionaram reduções negativas

inter meses, deixando a tarde e as madrugadas com flutuações térmicas amenas. Destaca-se os meses de setembro, novembro e dezembro que sofreram acréscimos térmicos de até 0,05°C, ocasionado leve desconforto humano. Resultados similares foram detectados por Marengo et al. (2022) Medeiros et al. (2020) e os IPCC (2021).

Figura 16. Anomalia térmica mínima (°C) do ano de 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Segundo Galvani (2011) o desvio padrão é importante para terem-se informações do grau de dispersão dos valores em relação ao valor médio. O coeficiente de variância que é utilizado para fazer comparações em termos relativos e expressa a variabilidade de cada conjunto de dados normalizada em relação à média, em porcentagem.

O desvio padrão nos afirma que as dispersões registradas estão próximas as médias anômalas, assim como as variações dos coeficientes de variâncias, para todos os anos em estudos.

CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou a relevância da análise das oscilações térmicas mínimas como subsídio à proposição de medidas mitigadoras voltadas à agricultura, agropecuária, agronegócio e estratégias de armazenamento e represamento de água, como cisternas enterradas de alvenaria, plástico, calçadão, tanques de pedra, placas pré-moldadas e barragens subterrâneas, visando o auxílio direto à população do semiárido.

A análise da oscilação espacial permitiu representar adequadamente as características térmicas anômalas, tanto negativas quanto positivas, observadas na área em estudo. Constatou-se que os materiais e técnicas construtivas, aliados às condições climáticas semiáridas da região, contribuíram para períodos climaticamente severos, impactando a qualidade de vida das comunidades locais.

O uso da série histórica das oscilações térmicas mínimas permitiu identificar uma grande variabilidade na distribuição temporal e espacial da temperatura, com alternância entre períodos prolongados de anomalias negativas e positivas.

A altitude e a latitude se destacaram como as variáveis fisiográficas que melhor explicam a variabilidade térmica mensal e anual observada. As altas oscilações de temperatura também contribuíram para o aumento das taxas de evapotranspiração.

As flutuações sazonais e interanuais das temperaturas mínimas são resultado direto da atuação das estações do ano (sazonalidade) e da intensidade dos sistemas atmosféricos sinóticos atuantes durante os períodos chuvosos e secos (interanualidade).

Observou-se que as temperaturas mínimas mensais e anuais oscilaram tanto acima quanto abaixo da normalidade, caracterizando anomalias positivas e negativas, com forte potencial indicativo de mudanças climáticas em curso.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, W. R.; MEDEIROS, R. M.; FRANÇA, M. V. de; HOLANDA, R. M. Oscilações climáticas das temperaturas extremas, média e amplitude térmica do ar em Bom Jesus Piauí, Brasil. **RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT**, v. 9, p. e238985366, 2020.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. EMBRAPA-CEPAGRI, São Paulo, agosto, p82, 2008.
- BAÊTA F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais, conforto animal**. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 269p. 2010.
- BETTOLLI, P. O. Statistical downscaling of daily precipitation and temperatures in southern La Plata Basin. **International Journal of Climatology**, 38, 3705– 3722. 2018.
- BRAGA, S. E.; FRANÇA, M. V. de; ROLIM NETO, F. C.; MEDEIROS, R. M. VARIABILIDADE DECADEAL DA PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA MÍNIMA DO AR EM SÃO BENTO DO UNA - PE, BRASIL. In: Giovanni Seabra. (Org.). **Terra - Mudanças Climáticas e Biodiversidade**. 1ed. Ituiubá-MG: Barlavento, v. p. 725-739. 2019.
- BRANCO, T.; MOURA, D. J. D.; NÄÄS, I. A.; LIMA, N. D. S.; KLEIN, D. R.; OLIVEIRA, S. R. D. M. The sequential behavior pattern analysis of broiler chickens exposed to heat stress. **AgriEngineering**, v. 3, p. 447 457, 2021.
- CAVALCANTI, E. P.; SILVA, E. D. V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8, 1994. Belo Horizonte, **Anais...Belo Horizonte: SBMET**, 1, p.154-157. 1994.
- 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**, 10. p.140-147. 2006.
- COELHO, C.; OLIVEIRA, C.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M.; CARPENEDO, C.; CAMPOS, J.; TOMAZIELLO, A.; PAMPUCH, L.; CUSTÓDIO, M.; DUTRA, L.; ROCHA, R.; REHBEIN, A. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics** 46, 3737-3752. 2016.
- COLLINS, J.; CHAVES, R.; MARQUES, V. Temperature Variability over South America. **Journal of Climate** 22, 5854-5869. 2009.
- CORDEIRO, A.; BERLATO, M.; FONTANA, D.; ALVES, R. Tendências climáticas das temperaturas do ar no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física** 9, 868-880. 2016.
- DETZER, J.; LOIKITH, P.; PAMPUCH, L.; MECHOSO, C.; BARKHORDARIAN, A.; LEE, H. Characterizing monthly temperature variability states and associated meteorology across southern South America. **International Journal of Climatology** 40, 492-508, 2019.
- FAUSTINO, A. C.; TURCO, S. H.; SILVA JUNIOR, R. G.; MIRANDA, I. B.; ANJOS, I. E.; LOURENÇONI, D. Spatial variability of enthalpy and illuminance in free range broiler sheds. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.25., n.5., p.340-344, 2021.
- FILHO, M. C.; LAGES, M. G. N. O.; MOURA, P. A.; JUNIOR, W. S. C.; JUNIOR, I. B. S.; PISCOYA, B. T. P. S.; FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M. Atualização, tendências, anomalias e impactos quinquenais

climáticos nos elementos chuva e temperatura do povoado Ribeira de Cabaceiras - PB. **Revista Caderno Pedagógico**. Curitiba, v.21, n.10, p. 01-21. 2024.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática do sorgo como suporte alimentar a avicultura de São Bento Una-Pernambuco, Brasil. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 4, p. 275-283, 2020.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática do sorgo como suporte alimentar a avicultura de São Bento Una-Pernambuco, Brasil. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 4, p. 275-283, 2022.

GALVANI, E. **Estatística descritiva em sala de aula**. In: VENTURI, L. A.B. Geografia: Práticas de campo, laboratório e sala de aula. São Paulo: Editora Sarandi, 2011.

HOLANDA, R. M.; SILVA, V. P. Temperatura média do ar e suas flutuações no Estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, n.2, v.1. 081-093, 2018.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part B: Regional Aspects. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, MASSON-DELMOTTE, V.; P. ZHAI, A.; PIRANI, S. L.; CONNORS, C.; PÉAN, S.; BERGER, N.; CAUD, Y.; CHEN, L.; GOLDFARB, M. I.; GOMIS, M.; HUANG, K.; LEITZELL, E.; LONNOY, J. B. R.; MATTHEWS, T. K.; MAYCOCK, T.; WATERFIELD, O.; YELEKÇI, R.; YU, B.; (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, p.3–32. 2021.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, H. O. PÖRTNER, D. C.; ROBERTS, E. S.; POLOCZANSKA, K.; MINTENBECK, M.; TIGNOR, A.; ALEGRIÁ, M.; CRAIG, S.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, V.; MÖLLER, A. OKEM (eds.). Cambridge University Press. 2022.

KAYANO, M.; ANDREOLI, R.; SOUZA, R.; GARCIA, S. Spatiotemporal variability modes of surface air temperature in South America during the 1951–2010 period: ENSO and non-ENSO components. **International Journal Of Climatology**. 37, 10.1002/joc.4972. 2017.

LOPART, M.; REBOITA, M.; COPPOLA, E.; GIORGI, F.; ROCHA, R.; SOUZA, D. Land Use Change over the Amazon Forest and Its Impact on the Local Climate. **Water** 10. 10.3390/w10020149. 2018.

MARENGO, J. A. LINCOLN, M. ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C.; LABORBE, R.; ROCHA, R. P. **Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais**. Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente – MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, fevereiro, 2007.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. ISBN 978-85-64265-01-1. INSA. Pag. 303 – 422. Campina Grande - PB. 2011.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; CUARTAS, L. A.; DEUSDARÁ LEAL, K. R.; BROEDEL, E.; SELUCHI, M. E.; MICHELIN, C. M.; DE PRAGA BAIÃO, C. F.; CHUCHÓN ÂNGULO, E.; ALMEIDA, E. K.; KAZMIERCZAK, M. L.; MATEUS, N. P. A.; SILVA, R. C.; BENDER, F. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: Characterization, Causes, and Impacts. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 1-20, 2021.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFRRPE. 2026.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 89, 2015.

MARENGO, J. A.; JIMENEZ, J. C.; ESPINOZA, J.; CUNHA, A. P.; ARAGÃO, L. E. O. Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia-Cerrado transition zone. **Scientific Reports**, v. 12, p. 457, 2022.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3-4: p. 1189 1200, 2016.

MEDEIROS, R. M. **Estudo agrometeorológico para o Estado da Paraíba**. Distribuição avulsa, p.165. 2018.

MEDEIROS, R. M. Milho e sorgo e suas potencialidades nas aptidões climáticas para o Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Mirante**, Anápolis (GO), v. 13, n. 2, dez. 2020. ISSN 1981-4089. 2020.

MEDEIROS, R. M. Regime pluvial máximo provável para São Bento do Una – Pernambuco, Brasil. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 14, p. 213–225, 2022.

MEDEIROS, R. M.; CAVALCANTI, E. P. Tendência climática das temperaturas do ar no município de Bom Jesus do Piauí, Brasil. **Research, Society and Development**. 9(7):1-23, e315973882. 2020.

MINUZZI, R. B.; CARAMORI, P. H.; BORROZZINO, E. Tendências na variabilidade climática sazonal e anual das temperaturas máxima e mínima do ar no Estado do Paraná. **Bragantia (São Paulo, SP. Impresso)**, v. 70, p. 471-479, 2011.

MONTROULL, N.; SAURRAL, R.; CAMILLONI, I. Hydrological impacts in La Plata basin under 1.5, 2 and 3 °C global warming above the preindustrial level. **International Journal of Climatology** 38, 3355-3368. 2018.

NASCIMENTO, M. B.; SILVA, C. M. **Variabilidade da Temperatura e Formação de Ilhas de Calor em dois municípios do Rio Grande do Norte**. Anais eletrônicos [...] Livro de Memórias do IV SUSTENTARE e VII WIPIS: Workshop internancional de Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos, 2023.

OLIVEIRA, P.; SANTOS, S. M.; LIMA, K. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology** 130, 77-90. 2017.

PARKER, D. Urban Heat Island Effects on Estimates of Observed Climate Change. **Interdisciplinary Review**, 1, 123-133. CrossRef. 2010.

PEREIRA, T. D.; SANTOS, B. C.; NEVES, G. Z. F. Variabilidade pluviométrica do Estado do Mato Grosso na série temporal de 1998 a 2017. **Revista Geonorte**, 11(37), 39–56. 2020.

REGUERO, B.; LOSADA, I.; MÉNDEZ, F. A recent increase in global wave power as a consequence of oceanic warming. **Nature Communications**. 10. 2019.

ROCHA, L. M. V.; SOUZA, L. C. L.; CASTILHO, F. J. V. Ocupação do solo e ilha de calor noturna em avenidas marginais a um córrego urbano. **Ambiente Construído**, 11(3), 161–175. 2011.

SANTOS FERREIRA, P. dos; SOUZA, W. M. de; SILVA, J. F. da; GOMES, V. P. Variabilidade Espaço-Temporal das Tendências de Precipitação na Mesorregião Sul Cearense e sua Relação com as Anomalias de TSM. **Revista Brasileira De Meteorologia**, 33(1), 141–152. 2018.

SANTOS, C. A. C.; OLIVEIRA, V. G. Trends in Extreme Climate Indices for Pará State, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, 13-24, 2017.

SARNIGHAUSEN, V. C. R.; NORIS, F. J.; FRANCO, J. R.; CAMPOS, F. S.; NARDI JÚNIOR, G.; SEVEGNANI, K. B.; SARTORI, D. L. Cenários de mudanças climáticas e efeitos na entalpia como índice biometeorológico. **Nativa**, v. 12, n. 3, p. 567-576, 2024.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

SILVA, M. C.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; FRANÇA, M. V. Tendência pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio Ipojuca - PE, Brasil. **Revista Observatorio de la economia latino-americano**, Curitiba. V.21, n.10, 17065-17085. 2023.

SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S.; CAVALCANTI, E. P.; SOUZA, E. P.; SILVA, B. B. Teleconnections between sea-surface temperature anomalies and air temperature in northeast Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 68, n. 1, p.781-792. 2006.

SMITH, T.; REYNOLDS, R.; PETERSON, T.; LAWRIEMORE, J. Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880 2006). **Journal of Climate**. 21, 2283-2296. 2008.

SOUZA, R. O. L.; FERREIRA, M. L. S. S.; VASCONCELLOS, C. A. B. Telhado verde de baixo investimento composto por plantas medicinais e aromáticas. **Semioses Revista Científica**. Rio de Janeiro. v. 9. n. 2, p. 48-58. jul./dez. 2015.

TRENBERTH, K. E.; JONES, P. D.; AMBENJE, P.; BOJARIU, R.; EASTERLING, D.; KLEIN TANK, A.; PARKER, D.; RAHIMZADEH, F.; RENWICK, J. A.; RUSTICUCCI, M.; SODEN, B.; ZHAI, P. **Observations: Surface and Atmospheric Climate Change**. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M.; Marquis, K.B.; Averyt, M.; Tignor and H.L.; Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

Capítulo 10 - POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS E SUAS FLUTUAÇÕES QUINQUENAL DA TEMPERATURA MÁXIMA, COMPARADA A TEMPERATURA MÁXIMA CLIMATOLÓGICA

Salatíel Ewen Braga
Raimundo Mainar de Medeiros
Romildo Morant de Holanda
Ana Karolina Peres de Melo Silva
Vinícius Dantas de Araújo

RESUMO

Este capítulo tem como objetivo compreender as variabilidades quinquenais da temperatura máxima do ar no Povoado Ribeira de Cabaceiras – PB, nos períodos de 2008–2012, 2013–2017 e 2018–2022, e compará-las com a média climatológica do intervalo de 2008 a 2022. Também busca-se demonstrar a variabilidade mensal e anual da temperatura máxima do ar na área em estudo. Para isso, utilizou-se um programa de planilha eletrônica para o cálculo das médias quinquenais e da média climatológica, analisando suas flutuações e plotando as anomalias positivas e negativas observadas em cada quinquênio. Adicionalmente, foram gerados gráficos das variabilidades anuais e da climatologia correspondente. Os resultados indicam possíveis variações climáticas na temperatura máxima do ar, com tendência de resfriamento, especialmente durante o período seco. As informações obtidas neste estudo podem subsidiar políticas públicas e decisões estratégicas em contextos de secas severas e elevadas variações térmicas. Por fim, observou-se que a degradação ambiental e as ações antrópicas estão acelerando o processo de alteração do clima local e regional, afetando as condições térmicas e a disponibilidade de água no solo.

Palavras-Chave: Tendência térmica, Anomalias quinquenais, Mudança microclimática, Planejamento climático, Impacto antrópico.

RIBEIRA DE CABACEIRAS VILLAGE AND ITS FIVE-YEAR MAXIMUM TEMPERATURE FLUCTUATIONS COMPARED TO CLIMATOLOGICAL MAXIMUM TEMPERATURE

ABSTRACT

This chapter aims to understand the five-year variability of maximum air temperature in the village of Ribeira de Cabaceiras – PB, during the periods 2008–2012, 2013–2017, and 2018–2022, and to compare them with the climatological average for the interval from 2008 to 2022. It also seeks to demonstrate the monthly and annual variability of maximum air temperature in the study area. A spreadsheet program was used to calculate the five-year averages and the climatological mean, analyzing their fluctuations and plotting the observed positive and negative anomalies for each period. Additionally, graphs were generated showing annual variability and the corresponding climatology. The results indicate possible climatic variations in maximum air temperature, with a cooling trend, especially during the dry season. The information obtained in this study may support public policies and strategic decisions in contexts of severe droughts and high thermal variation. Finally, it was observed that environmental degradation and anthropogenic

actions are accelerating the process of climate change at local and regional levels, affecting thermal conditions and soil water availability.

Keywords: Thermal tren, Five-year anomalies, Microclimate change, Climate planning, Anthropogenic impact.

INTRODUÇÃO

Os seres vivos que habitam o planeta estão ajustados à energia do ambiente. Além das flutuações diárias, a temperatura varia ao longo do ano, de acordo com o posicionamento da Terra em relação à radiação solar. Assim, observa-se que a temperatura do ar exerce influência direta sobre o desenvolvimento dos organismos vivos, tanto animais quanto vegetais, tornando imprescindível a utilização de métodos confiáveis de estimativa de temperatura para que se possam obter informações precisas.

Há consenso entre os cientistas de que as mudanças climáticas globais são majoritariamente causadas por atividades antropogênicas (Molion, 2008). Tais alterações são mais visíveis em áreas urbanas, onde diversos estudos têm demonstrado que as cidades desenvolvem microclimas próprios, resultantes dos distintos padrões de uso e ocupação do solo (Coutts et al., 2007; Alves e Specian, 2009).

Nos dias atuais, é evidente a relevância de pesquisas que envolvam o estudo do clima, com vistas à construção de novos parâmetros de conhecimento e aplicação em atividades humanas diversas, como agricultura, manejo de recursos hídricos, agropecuária, economia e turismo. Essas atividades dependem de dados e informações cada vez mais precisos sobre chuvas, secas, eventos extremos e tendências térmicas de médio e longo prazo (Nobre, 2014).

Diversos autores têm contribuído para esse campo. Alves (2014), por exemplo, analisou a oscilação da temperatura e da umidade relativa do ar na cidade de Iporá – GO e identificou como os aspectos físicos do ambiente e a morfologia urbana influenciam nos extremos térmicos. Medeiros et al. (2012) avaliaram quatro métodos de cálculo da temperatura média do ar em municípios do Piauí, demonstrando alta confiabilidade, com índices de desempenho classificados entre “muito bom” e “ótimo”.

Matos et al. (2015), em estudo realizado em Barbalha – CE, mostraram que a elevação e a latitude são os fatores fisiográficos que melhor explicam a variação da temperatura do ar. Sanches et al. (2022) reforçaram a importância de considerar os sistemas atmosféricos relevantes e seus efeitos térmicos e pluviométricos em análises climatológicas. Já Santos et al. (2017) projetaram variações térmicas de até 4 °C no território brasileiro, evidenciando maior aquecimento nas regiões Norte e Nordeste, com aumento de até 75% nos dias mais quentes.

Medeiros et al. (2020), ao analisarem as tendências térmicas de Bom Jesus – PI entre 1960 e 2018, constataram padrões significativos de variação interanual e sazonal, relacionados à atuação de sistemas sinóticos regionais e locais. Lemos e Santiago (2020) abordaram as dificuldades da agricultura familiar de sequeiro no semiárido brasileiro, reforçando o impacto das variações interanuais e intra-sazonais na precipitação e nas temperaturas elevadas.

Silva et al. (2023) destacam a necessidade de monitoramento climático contínuo por meio de índices e ferramentas estatísticas, como o teste de Mann-Kendall, visando oferecer suporte à gestão dos recursos hídricos. A distribuição espacial da temperatura segue padrões distintos nos meses de verão e inverno, sendo influenciada por fatores

como latitude, altitude e sazonalidade (Barry e Chorley, 2013; Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

Assim, este capítulo tem como objetivo analisar as variabilidades quinquenais da temperatura máxima do ar no Povoado Ribeira de Cabaceiras, nos períodos de 2008–2012, 2013–2017 e 2018–2022, e compará-las com a climatologia do intervalo de 2008 a 2022. Também busca-se descrever a variabilidade da temperatura máxima do ar ao longo dos meses e anos, contribuindo para a compreensão das tendências térmicas da área em estudo.

METODOLOGIA

Os dados de temperatura máxima correspondem à série de anos compreendida entre 2008 e 2022, os quais foram estimados por meio do software Estima_T (Cavalcanti e Silva, 1994; Cavalcanti et al., 2006), disponível no site da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Foram determinados os coeficientes da função quadrática para a estimativa da temperatura máxima mensal em função das coordenadas geográficas locais longitude, latitude e altitude, conforme metodologia proposta por Cavalcanti et al. (2006):

$$T = C_0 + C_1\lambda + C_2\varnothing + C_3h + C_4\lambda_2 + C_5\varnothing_2 + C_6h_2 + C_7\lambda\varnothing + C_8\lambda h + C_9\varnothing h \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

$C_0, C_1, \dots, C_9$: constantes;

$\lambda, \lambda_2, \lambda\varnothing, \lambda h$: longitude;

$\varnothing, \varnothing_2, \lambda\varnothing$: latitude;

$h, h_2, \lambda h, \varnothing h$: altura.

Também estimaram a série temporal de temperatura, adicionando a esta anomalia de temperatura do Oceano Atlântico Tropical (Silva et al., 2006).

$$T_{ij} = T_i + AAT_{ij} \quad i = 1, 2, 3, \dots, 12 \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

i : 1, 2, 3, ..., 12;

j : 2008, 2009, ..., 2022.

Utilizou-se um programa de planilha eletrônica para calcular as médias quinquenais dos períodos de 2008–2012, 2013–2017 e 2018–2022, seguidas do cálculo da média climatológica do intervalo de 2008 a 2022. A partir desses dados, analisaram-se as flutuações térmicas, com o posterior plot das variabilidades anômalas dos respectivos quinquênios, com o objetivo de identificar oscilações positivas e/ou negativas. Também foi realizado o plot das variabilidades anuais e da climatologia do período analisado.

O cálculo das anomalias das temperaturas máximas mensais e anuais foram realizadas conforme a equação (3).

$$ATx = (\text{Temp máx reg} - \text{Temp máx clima}) \quad (\text{Eq. 3})$$

ATx: Anomalia das Temperaturas máximas;

Temp máx reg: temperatura máxima registrada;

Temp máx clima: temperatura máxima climatológica.

RESULTADO E DISCUSSÃO

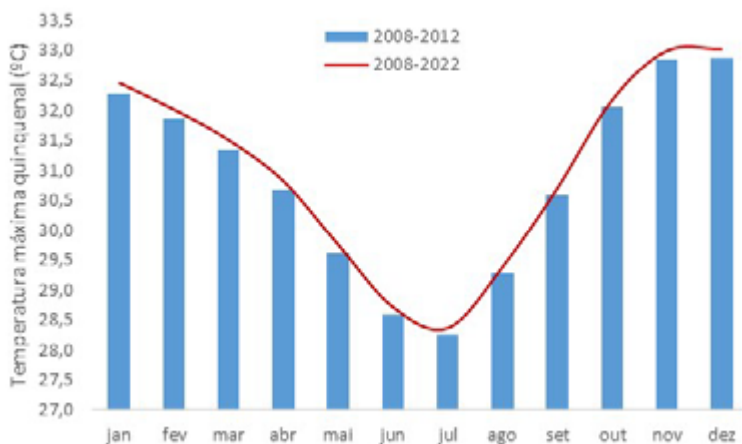
Segundo o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), o aquecimento global ocasionado pelas ações humanas, atualmente estimado em 1,1°C, vem desencadeando mudanças e impactos significativos no clima do planeta, com intensificação das amplitudes térmicas e aumento da frequência de eventos extremos.

Para Yin et al. (2019), as mudanças na temperatura vêm promovendo alterações climáticas significativas. Assim, a avaliação dessa variável tem se tornado essencial para compreender os efeitos das mudanças climáticas, especialmente considerando as previsões de aumento de calor e seus impactos na saúde humana, incluindo aumento da mortalidade.

Com flutuações oscilando entre 28,4°C (julho) como valor mínimo e 33,0 °C (novembro e dezembro) como valor máximo para o quinquênio 2008–2012, observou-se aumento térmico entre agosto e dezembro, enquanto de janeiro a julho ocorreram reduções. Os meses de junho e julho apresentaram os valores mais baixos de temperatura máxima, enquanto os picos mais elevados ocorreram em novembro e dezembro (Figura 1).

O trimestre mais frio do quinquênio corresponde aos meses de junho, julho e agosto, enquanto o trimestre mais quente é composto por outubro, novembro e dezembro. Essas flutuações corroboram os achados de IPCC (2021), Medeiros et al. (2021) e Silva et al. (2023), que destacam a crescente variabilidade térmica em contextos regionais.

Figura 1. Representação da temperatura máxima quinzenal (°C) e temperatura média máxima, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O autor.

Segundo Oliveira (2023), a temperatura é um elemento climático que interfere diretamente na fisiologia da fauna e flora, influenciando seu desenvolvimento. Portanto, conhecer e entender suas oscilações é fundamental para o planejamento ambiental e agrícola, além de ser um fator determinante na definição da aptidão de cultivares em diferentes regiões (França e Medeiros, 2020; Duarte et al., 2020).

O quinquênio 2013–2017, representado na Figura 2, demonstrou uma leve redução nos valores de temperatura máxima, da ordem de $0,1^{\circ}\text{C}$, em comparação à média climatológica. Essa redução pode ser atribuída à maior frequência de chuvas esparsas, maior cobertura de nuvens, ausência de focos de calor e queimadas, além da atuação de sistemas de meso e microescala. Resultados semelhantes foram observados por IPCC (2014, 2021) e Marengo et al. (2023).

Figura 2. Representação da temperatura máxima quinzenal ($^{\circ}\text{C}$) e temperatura média máxima, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



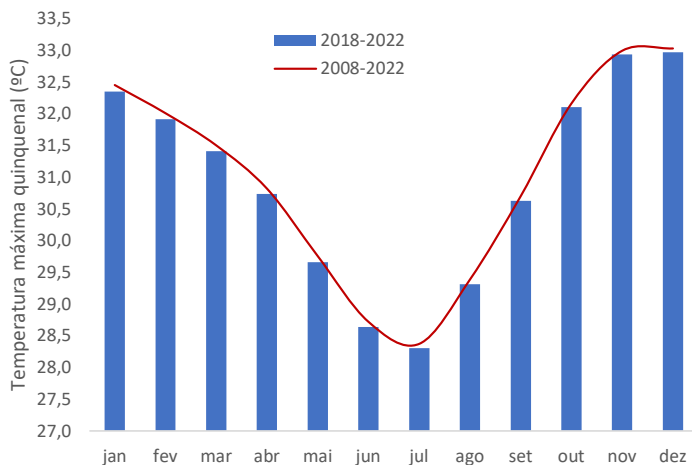
Fonte: O autor.

Os achados corroboram as discussões de IPCC (2014), bem como os estudos de Holanda e Silva (2018), Medeiros et al. (2021) e Marengo et al. (2022). Conforme Medeiros (2022), as flutuações nas temperaturas mínimas também têm gerado impactos significativos na sensação térmica das populações, exigindo atenção especial em termos de saúde pública e planejamento urbano.

A Figura 3 apresenta as variações da temperatura máxima quinzenal ($^{\circ}\text{C}$) e da média das temperaturas máximas no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

A distribuição pluvial do quinquênio 2018–2023 apresentou uma elevação de $0,1^{\circ}\text{C}$ nos meses de dezembro a março, quando comparada à climatologia de 2008–2023. Essa elevação é atribuída a fatores regionais e locais, como transporte zonal de ventos, baixa cobertura de nuvens, alta incidência de radiação solar direta na superfície, ausência de cobertura vegetal e ocorrência de queimadas isoladas. Esses resultados foram semelhantes aos identificados por Marengo et al. (2023), Medeiros et al. (2022) e IPCC (2023).

Figura 3. Representação da temperatura máxima quinquenal (°C) e temperatura média máxima, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O autor.

Segundo o IPCC (2021), os episódios extremos de temperatura, com longos períodos de frio ou calor, têm se intensificado. As análises indicam que a temperatura média da superfície global aumentou cerca de 0,6°C ao longo do século XX, com várias regiões registrando alterações significativas nas últimas décadas.

As anomalias climáticas correspondem a eventos meteorológicos e climatológicos que se desviam dos padrões médios, como a precipitação excessiva ou a escassez extrema, que podem provocar desde enchentes até longos períodos de estiagem (Pereira et al., 2020). Os resultados aqui obtidos reforçam as discussões anteriores do IPCC (2014) e de Holanda e Silva (2018).

As anomalias das temperaturas máximas mensais quinquenais no Povoado Ribeira de Cabaceiras estão representadas na Figura 4. No quinquênio 2013–2017, as anomalias variaram entre 0,25°C (outubro) e 0,33°C (janeiro), com picos em janeiro e maio, e valores mínimos em julho, agosto e novembro. Tais oscilações foram associadas ao transporte zonal do vento, baixa nebulosidade, alta radiação solar direta na superfície e presença de queimadas. Resultados semelhantes foram observados por Marengo et al. (2023), Medeiros et al. (2022) e IPCC (2023).

Durante o quinquênio 2008–2012, registraram-se anomalias térmicas negativas entre -0,1°C (outubro a dezembro) e -0,2°C (janeiro). Já no período 2018–2023, observaram-se as menores anomalias positivas, atribuídas à ocorrência de chuvas esparsas, maior cobertura de nuvens e vegetação moderada. Tais observações também se alinham aos achados de Marengo et al. (2023), Medeiros et al. (2022) e IPCC (2023).

Figura 4. Representações das anomalias das temperaturas máximas quinquenais ($^{\circ}\text{C}$), no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

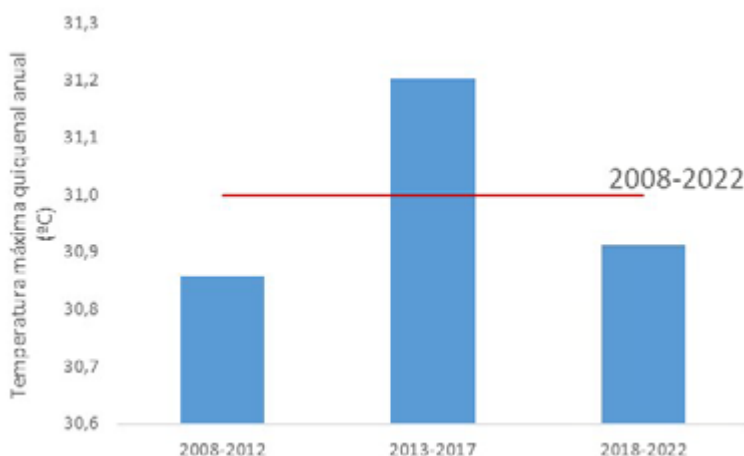


Fonte: O autor.

Conforme Marengo et al. (2015), a temperatura mínima possui maior potencial de variação positiva no futuro, sendo influenciada por sistemas atmosféricos transientes, fatores locais e regionais, além da troca de calor na superfície.

A Figura 5 ilustra as temperaturas máximas anuais quinquenais no Povoado Ribeira de Cabaceiras. No quinquênio 2008–2012, a temperatura máxima foi de $30,9^{\circ}\text{C}$, apresentando uma redução de 0,32% em relação à climatologia. Já no período 2013–2017, registrou-se aumento para $31,2^{\circ}\text{C}$ (acréscimo de 0,6%), enquanto no quinquênio 2018–2022 observou-se nova redução de 0,32%. Tais variações seguem a tendência apresentada por Medeiros (2018).

Figura 5. Representações das temperaturas máximas quinquenais ($^{\circ}\text{C}$) anuais, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



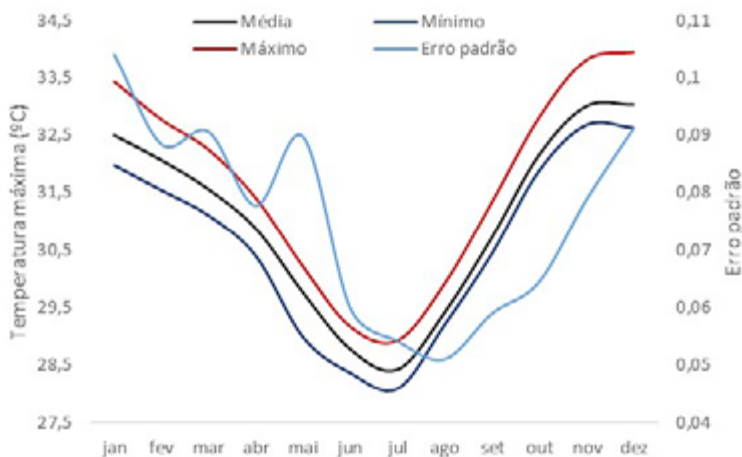
Fonte: O autor.

Na Figura 6, são apresentadas as variabilidades da temperatura máxima absoluta, mínima das máximas e média das máximas para os quinquênios estudados, além do erro padrão associado.

As temperaturas máximas absolutas variaram de 28,8°C (julho) a 40°C (dezembro). De janeiro a julho, observaram-se reduções térmicas, atribuídas à maior cobertura de nuvens, umidade elevada, baixa incidência solar e ausência de queimadas. Já de agosto a dezembro, os aumentos térmicos são significativos e afetam especialmente a vegetação, recém-nascidos e idosos, sendo explicados pela escassa cobertura de nuvens, intensa radiação solar, queimadas e ausência de chuvas (Medeiros, 2018).

As oscilações das temperaturas mínimas das máximas variaram entre 28,2°C (julho) e 32,8°C (dezembro). As reduções térmicas ocorreram entre janeiro e julho, com elevação entre agosto e dezembro. A média das máximas seguiu essa mesma tendência, sendo influenciada diretamente pelas variações das temperaturas extremas. Os resultados estão em consonância com os achados de Marengo e Camargo (2007).

Figura 6. Representações das temperaturas máximas das máximas, média das máximas, mínimas das máximas e erro padrão quinquenais (°C), no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O autor.

CONCLUSÃO

A temperatura máxima do ar anual apresentou significativa variação entre os quinquênios analisados. No período de 2008 a 2012, observou-se uma redução de 0,32%; entre 2013 e 2017, registrou-se uma elevação de 0,64%; e no quinquênio de 2018 a 2022, novamente ocorreu uma redução de 0,32%.

Esses resultados sinalizam possíveis alterações no clima da região, indicando uma tendência a condições mais amenas, especialmente durante o período seco.

As informações obtidas nesta pesquisa podem subsidiar decisões por parte dos gestores públicos e tomadores de decisão, especialmente em contextos de secas severas e elevadas variações térmicas.

A degradação ambiental e as ações antrópicas têm antecipado o processo de mudanças no clima local e regional, impactando diretamente nas condições térmicas e na disponibilidade hídrica do solo.

Os resultados deste estudo contribuíram para a compreensão das oscilações térmicas e suas flutuações interanuais, fornecendo suporte para o planejamento e a elaboração de projetos ambientais, bem como para a formulação de políticas públicas ambientais e climáticas. Compreender essas interações é fundamental para análises hidrológicas e ambientais, oferecendo uma visão abrangente dos padrões de evaporação na área em estudo.

REFERÊNCIAS

ALVES, E. D. L.; SPECIAN, V. Contribuição aos estudos do clima urbano: variação térmica e higrométrica em espaços intraurbanos. *Mercator*, v. 8, n. 17, p. 181-191, 2009.

ALVES, W. S. **As interações espaciais e o clima urbano de Iporá-GO**. 122 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) UFG/CAJ, Jataí-GO. 2014.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. *Atmosphere, Weather and Climate*. 9th Edition. **Routledge**. 2013.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, E. D. V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8, 1994. Belo Horizonte, **Anais...Belo Horizonte: SBMET**, 1, p.154-157. 1994.

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*, 10. p.140-147. 2006.

COUTTS, A. M.; BERINGER, J.; TAPPER, N. J. Impact of increasing urban density on local climate: Spatial and temporal variations in the surface energy balance in Melbourne, Australia. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 46, n. 4, p. 477-493, 2007.

DUARTE, J. F. M.; MEDEIROS, R. M.; MENEZES, H. E. A. Aptidão agroclimática de culturas anuais e perenes no município de Recife-PE, Brasil. *Revista de Ciências Agroambientais*, v. 18, n. 1, p. 34-42, 2020.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática do sorgo como suporte alimentar a avicultura de São Bento Una-Pernambuco, Brasil. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 8, n. 4, p. 275-283, 2020.

HOLANDA, R. M.; SILVA, V. P. Temperatura média do ar e suas flutuações no Estado de Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, n.2, v.1. 081-093, 2018.

IPCC. Intergovernmental Painel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for policymakers In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA) ed C B Field et al. (Cambridge University Press) pp 1–32. 2014.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, MASSON-DELMOTTE, V.; P. ZHAI, A.; PIRANI, S. L.; CONNORS, C.; PÉAN, S.; BERGER, N.; CAUD, Y.; CHEN, L.; GOLDFARB, M. I.; GOMIS, M.; HUANG, K.; LEITZELL, E.; LONNOY, J. B. R.; MATTHEWS, T. K.; MAYCOCK, T.; WATERFIELD, O.; YELEKÇI, R.; YU, B.; (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, p.3–32. 2021.

LEMOS, J. J. S.; SANTIAGO, D. F. Instabilidade temporal na produção agrícola familiar de sequeiro no semiárido do Nordeste Brasileiro. *Desenvolvimento em Questão*, v. 18, n. 50p. 186-200, 2020. <https://doi.org/10.21527/2237-6453.50.186-200.2020>.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

MARENGO, J. A.; ALCANTARA, E.; CUNHA, A. P.; SELUCHI, M.; NOBRE, C. A.; DOLIF, G.; GONCALVES, D.; ASSIS DIAS, M.; CUARTAS, L. A.; BENDER, F.; RAMOS, A. M.; MANTOVANI, J. R.; ALVALÁ, R. C.; MORAES, O. L. Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25-28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. **Weather and Climate Extremes**, v. 39, p. 100545, 2023.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. G. Trends in Extreme air temperatures in Southern Brazil, **International Journal Climatology**, v.28, p. 893-904. 2007.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 89, 2015.

MARENGO, J. A.; JIMENEZ, J. C.; ESPINOZA, J.; CUNHA, A. P.; ARAGÃO, L. E. O. Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia-Cerrado transition zone. **Scientific Reports**, v. 12, p. 457, 2022.

MATOS, R. M.; MEDEIROS, R. M.; FRANCISCO, P. R. M.; SILVA, P. F.; SANTOS, D. Caracterização e aptidão climática de culturas para o município de Alhandra - PB, Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 3, p. 183-192, 2015.

MEDEIROS, R. M. **Estudo agrometeorológico para o Estado da Paraíba**. Distribuição avulsa, p.165. 2018.

MEDEIROS, R. M. Regime pluvial máximo provável para São Bento do Una – Pernambuco, Brasil. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 14, p. 213–225, 2022.

MEDEIROS, R. M.; SILVA, V. P.; MORAES, A. S.; PISCOYA, V.; FRANCA, M. V.; SABOYA, L. M. F. Decadal Precipitation in São Bento Una - Pernambuco, Brazil. **ijssrm.humanjournals.com**. 19, 42 - 56. 2021.

MEDEIROS, R. M.; TAVARES, A. L.; KASSAR, C. B.; SILVA, J. A. S.; SILVA, V. P. R. Metodologias de cálculo da temperatura média diária do ar: aplicação para os municípios de Parnaíba, Picos e Gilbués, PI. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 6, n. 4, p. 283–295, 2012.

MEDEIROS, R.M.; CAVALCANTI, E.P. Tendência climática das temperaturas do ar no município de Bom Jesus do Piauí, Brasil. **Research, Society and Development**. 9(7):1-23, e315973882. 2020.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MOLION, L. C. B. Perspectivas climáticas para os próximos 20 anos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3/4, n. 3, p. 117-128, 2008.

NOBRE, C. A. **Mudanças climáticas globais e seus impactos no Brasil**. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2014.

OLIVEIRA, L. D. **As contribuições da climatologia para prevenção e combate a incêndios florestais no Parque Estadual Serra do Rola Moça**. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais. 232 p. 2023.

PEREIRA, T. D.; SANTOS, B. C.; NEVES, G. Z. F. Variabilidade pluviométrica do Estado do Mato Grosso na série temporal de 1998 a 2017. **Revista Geonorte**, 11(37), 39–56. 2020.

SANCHES, R. G.; SANTOS, B. C.; NEVES, G. Z. F.; SILVA, M. S. D.; SOUZA, P. H. Análise da tendência pluviométrica na região central do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Climatologia**, 30(18), 777-797. 2022.

SANTOS, C. A. C.; OLIVEIRA, V. G. Trends in Extreme Climate Indices for Pará State, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, 13-24, 2017.

SILVA, M. C.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; FRANÇA, M. V. Tendência pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio Ipojuca - PE, Brasil. **Revista Observatorio de la economía latino-americano**, Curitiba. V.21, n.10, 17065-17085. 2023.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S.; CAVALCANTI, E. P.; SOUZA, E. P.; SILVA, B. B. Teleconnections between sea-surface temperature anomalies and air temperature in northeast Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 68, n. 1, p.781-792. 2006.

YIN, Q.; WANG, J.; REN, Z.; LI, J.; GUO, Y. Mapping the increased minimum mortality temperatures in the context of global climate change. **Nature Communications**, v.10, n.1, p.4640, 2019.

Capítulo 11 - IMPACTOS QUINQUENAIS CLIMÁTICOS NAS INFORMAÇÕES TÉRMICAS E PLUVIAIS DO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRASIL

Ana Karolina Peres de Melo Silva

Salatiel Ewen Braga

Raimundo Mainar de Medeiros

Romildo Morant de Holanda

Vinícius Dantas de Araújo

RESUMO

As oscilações climáticas em áreas específicas exercem influência significativa sobre diversas atividades socioeconômicas, especialmente na agricultura familiar, na agropecuária, na produção agroecológica e nos agronegócios. Este estudo atualiza e avalia os incrementos térmicos e pluviais em períodos quinquenais, bem como seus impactos no Povoado Ribeira de Cabaceiras, com foco na relação com a agricultura e o conforto ambiental. Foram analisadas as médias quinquenais de temperatura e precipitação (2010–2014, 2015–2019 e 2020–2023), utilizando-se regressão linear para identificar tendências mensais e anuais. O monitoramento das condições climáticas regionais e locais é essencial para detectar alterações que possam gerar impactos nos sistemas de produção, manejo e planejamento agrícola, no armazenamento de água e no conforto térmico da população. Essas informações são fundamentais para embasar decisões mais assertivas no âmbito socioeconômico, agropecuário e de gestão dos recursos hídricos locais. As elevações dos índices pluviométricos observadas decorrem, principalmente, da ocorrência de chuvas extremas de alta intensidade e curta duração, provocadas por movimentos descendentes da atmosfera e estabilidade térmica. Já o acréscimo de 0,2 °C na temperatura média do segundo quinquênio está relacionado às flutuações das temperaturas mínimas, que apresentaram tendência de aumento na região.

Palavras-chave: Conforto térmico, Chuvas extremas, Gestão hídrica, Produção agroecológica, Tendências climáticas.

FIVE-YEAR CLIMATIC IMPACTS ON THERMAL AND RAINFALL DATA IN THE VILLAGE OF RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRAZIL

ABSTRACT

Climatic fluctuations in specific areas significantly influence various socioeconomic activities, especially family farming, livestock production, agroecological practices, and agribusiness. This study updates and evaluates thermal and rainfall increases over five-year periods, as well as their impacts on the village of Ribeira de Cabaceiras, with a focus on their relationship with agriculture and environmental comfort. Five-year averages for temperature and precipitation (2010–2014, 2015–2019, and 2020–2023) were analyzed using linear regression to identify monthly and annual trends. Monitoring regional and local climate conditions is essential to detect changes that may affect production systems, agricultural management and planning, water storage, and the population's thermal comfort. This information is fundamental to support more assertive decision-making in socioeconomic, agricultural, and local water resource management contexts. The observed increases in rainfall indexes are mainly due to the occurrence of extreme, high-

intensity, short-duration rainfall events, caused by downward atmospheric movements and thermal stability. The 0.2 °C rise in the average temperature during the second five-year period is related to fluctuations in minimum temperatures, which showed a rising trend in the region.

Keywords: Thermal Comfort, Extreme rainfall, Water management, Agroecological production, Climate trends.

INTRODUÇÃO

Bergamaschi et al. (2017) mostraram que, nas últimas décadas, a temática das mudanças climáticas vem recebendo destaque em escala mundial, em virtude das grandes preocupações que desperta. Essas preocupações estão relacionadas aos possíveis impactos que as alterações do clima podem causar na disponibilidade de água, perda da biodiversidade e produção de alimentos.

Giulio et al. (2019) afirmaram que o cenário das mudanças climáticas está associado à crescente pressão sobre os recursos terrestres, evidenciando a necessidade da compreensão de fenômenos extremos, como chuvas intensas e secas prolongadas, cujos efeitos são diretamente sentidos pela população, sobretudo pela escassez de água.

Segundo o relatório do IPCC (2023), Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, o aquecimento global induzido pelas atividades humanas já elevou a temperatura média global em 1,1°C, provocando impactos significativos no clima do planeta. A tendência é que o aumento das temperaturas se intensifique, tanto em frequência quanto em magnitude.

Para Medeiros et al. (2015) que analisaram a variabilidade espaço-temporal das variações térmicas e pluviométricas no Estado da Paraíba, os resultados demonstraram que as contribuições pluviométricas variam conforme a região: 70% no Litoral; 69% no Agreste e Brejo; 66% no Cariri/Curimataú; 86% no Sertão e 75% no Alto Sertão. Também observaram reduções de temperatura entre maio e agosto no Agreste, Cariri/Curimataú e Alto Sertão, e entre junho e agosto no Litoral, Brejo e Sertão.

A diversidade climática da região Nordeste do Brasil (NEB) é complexa (Silva et al., 2008), dominada por climas quentes de baixas latitudes, com temperaturas anuais superiores a 18°C. A variação entre áreas mais secas no interior e mais úmidas no litoral leste é marcante. Para Sales et al. (2000) no NEB e, em especial, na Paraíba, as flutuações térmicas estão mais relacionadas às condições topográficas locais do que a variações latitudinais.

No semiárido nordestino, a distribuição das chuvas é irregular no tempo e no espaço, com longos períodos de estiagem. As temperaturas são elevadas e favorecem alta taxa de evaporação (Clemente, 2021; Marengo, 2008). Marengo et al. (2011) ressaltam que a distribuição das chuvas decorre da dinâmica atmosférica, mas também sofre influência de fatores locais, como relevo e localização geográfica.

A FAO (2021) destaca que o crescimento acelerado dos centros urbanos vem gerando impactos significativos sobre as terras agrícolas e os recursos hídricos. A agricultura de sequeiro, que representa 60% da produção mundial de alimentos, ocupa 80% das terras cultivadas, enquanto as áreas irrigadas, responsáveis por 40% da produção, ocupam apenas 20%. A FAO também alerta para o impacto da erosão do solo, que remove anualmente de 20 a 37 bilhões de toneladas da camada superficial produtiva, reduzindo a produtividade agrícola e a capacidade de retenção de água, nutrientes e carbono.

Diante da relevância da temática, o presente estudo tem como objetivo analisar os impactos climáticos quinquenais sobre os regimes térmicos e pluviais, suas tendências e anomalias, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

METODOLOGIA

Foram utilizados dados mensais de precipitação (mm), obtidos por interpolação através do método da Média Ponderada pelo Inverso da Distância ao Quadrado (IDW), com base nos municípios circunvizinhos ao Povoado Ribeira de Cabaceiras. Após a interpolação, calcularam-se as médias quinquenais para três períodos: 2010-2014, 2015-2019 e 2020-2023. Os dados de temperatura média (°C) foram gerados com o auxílio do software Estima-T, conforme metodologia descrita por Cavalcanti e Silva (1994) e Cavalcanti et al. (2006), respeitando os mesmos intervalos quinquenais utilizados para os dados pluviométricos.

A análise da evolução climática considerou as médias quinquenais das variáveis térmicas e pluviais. Foram avaliadas as tendências climatológicas com base nos valores mensais e anuais de temperatura e precipitação. Para identificar as tendências ao longo do tempo, empregou-se a técnica de regressão linear, permitindo observar possíveis aumentos ou reduções nas variáveis climáticas durante os períodos analisados.

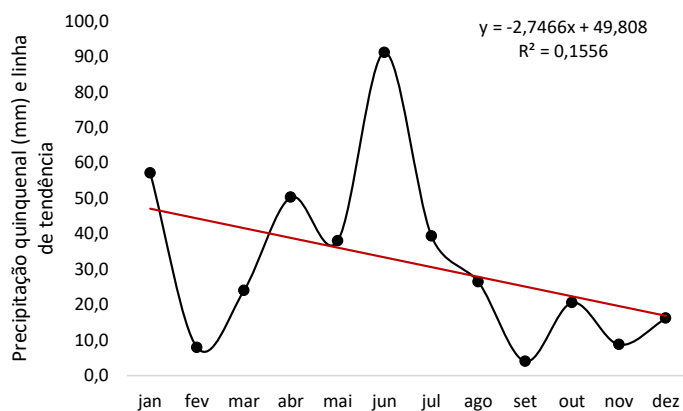
RESULTADO E DISCUSSÃO

Coelho et al. (2016) mostraram que a influência do Ciclo Neutro foi considerada atípica e mais seca, devido ao sistema anômalo de alta pressão sobre o oceano Atlântico adjacente à região Sudeste, que bloqueou a atuação dos sistemas frontais, favorecendo a manutenção do aquecimento oceânico por meio da incidência da radiação solar, desfavorecendo a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul.

A precipitação quinquenal entre 2010-2014 (Figura 2) apresentou distribuição mensal irregular, com variabilidade nos seus gradientes e amplitudes, ocasionadas pela má distribuição dos elementos geradores de chuva na área de estudo e pela baixa contribuição dos sistemas pluviais de meso e microescala. Predominaram formações com pouca influência de linhas de instabilidade, aglomerados convectivos e efeitos locais. Resultados semelhantes são descritos nos estudos de Medeiros et al. (2022), Marengo et al. (2022) e IPCC (2023).

As flutuações pluviais oscilaram entre 95,9 mm (junho) e 1,2 mm (setembro). Entre março e julho, houve chuvas crescentes, com exceção de maio. Os meses de menor índice pluvial foram fevereiro, setembro e novembro. Já os picos elevados ocorreram em janeiro, abril, junho e julho, associados à atuação de linhas de instabilidade, aglomerados convectivos e efeitos locais. A distribuição pluvial quinquenal apresentou tendência negativa e de baixa significância, indicando que, nos próximos anos, as chuvas devem sofrer redução.

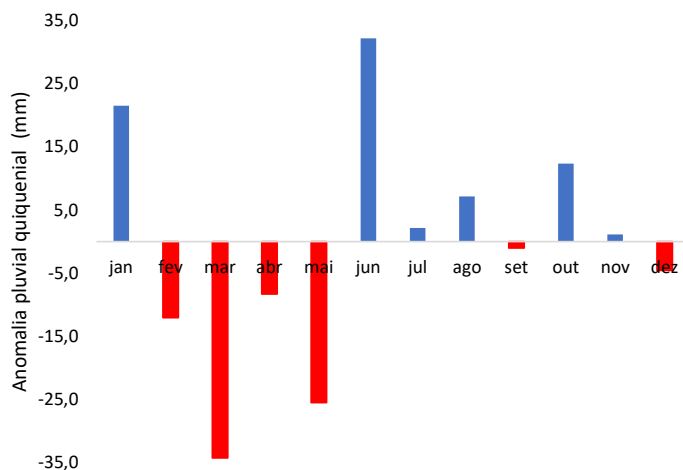
Figura 2. Precipitação quinzenal (2010-2014) e a tendência linear pluvial para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

As anomalias pluviiais positivas oscilaram entre 0,2 mm (novembro) e 34,6 mm (junho). As negativas variaram de 0,3 mm (setembro) a 34,6 mm (março). As demais anomalias apresentaram irregularidades, atribuídas à ausência de contribuições dos efeitos de meso e microescala (Figura 3), conforme também observado por Medeiros et al. (2022) e Marengo et al. (2022).

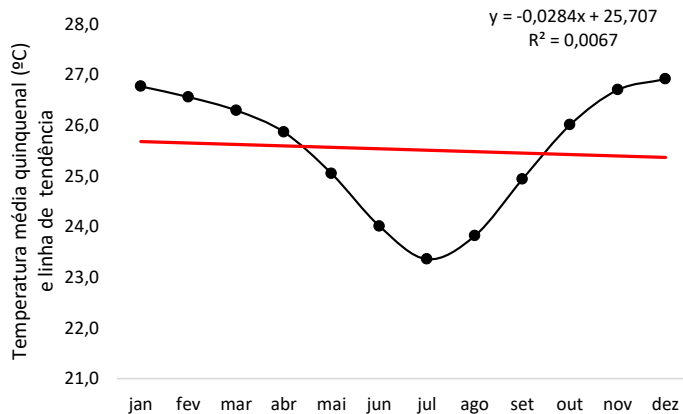
Figura 3. Anomalia da precipitação quinzenal (2010-2014) para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

As oscilações térmicas médias (Figura 4) variaram entre 23,6 °C (julho) e 27,2 °C (dezembro). Entre agosto e dezembro, observou-se acréscimo gradual, de 24,2 °C a 27,2 °C, em decorrência da baixa intensidade dos ventos, da cobertura de nuvens, de chuvas isoladas de baixa magnitude e intensidade, dos focos de queimadas e dos movimentos verticais ascendentes. O IPCC (2022, 2023) corrobora com essas discussões.

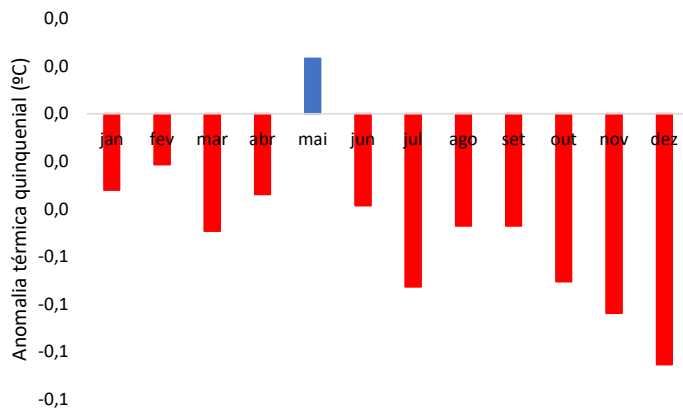
Figura 4. Temperatura média quinquenal (2010-2014) e a tendência linear térmica para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

As anomalias térmicas quinquenais (2010-2014) para o Povoado Ribeira de Cabaceiras (Figura 5) registraram anomalias negativas entre 0,1 °C (dezembro) e 0,02 °C (fevereiro), exceto no mês de maio, quando o valor foi positivo. Essas anomalias negativas são atribuídas às flutuações da temperatura mínima, influenciadas por fatores regionais e locais, e pelas oscilações dos sistemas de meso e microescala. Marengo et al. (2021) e os relatórios do IPCC (2021, 2022, 2023) corroboram com os resultados.

Figura 5. Anomalia térmica quinquenal (2010-2014) para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

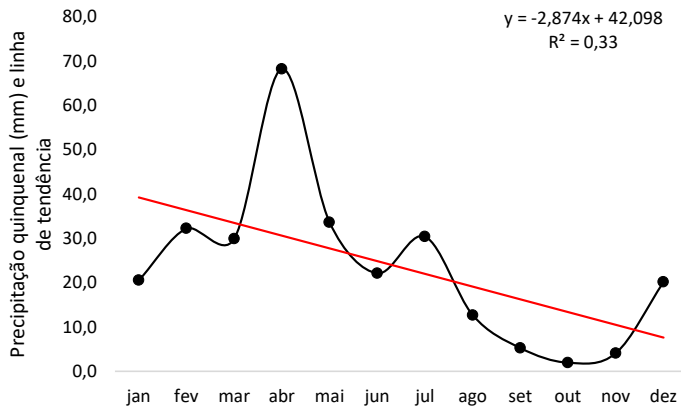
As oscilações quinquenais e sua tendência linear pluvial (Figura 6) registraram decréscimos nos índices entre agosto e novembro e em janeiro, com flutuações entre 0,5 mm (outubro) e 20,0 mm (janeiro). Houve acréscimos entre fevereiro (30,5 mm) e maio (36,8 mm).

As distribuições pluviais quinquenais foram irregulares, devido à má distribuição, bloqueios atmosféricos, movimentos verticais descendentes que reduziram a

nebulosidade, variações térmicas, insolação direta à superfície e chuvas isoladas de intensidade variada em curto intervalo de tempo.

A precipitação quinquenal apresentou reta de tendência com coeficiente angular negativo e R^2 de baixa amplitude, indicando possíveis reduções futuras nos índices. Resultados semelhantes são encontrados nos estudos de Medeiros et al. (2021), Marengo et al. (2021) e IPCC (2023).

Figura 6. Precipitação quinquenal (2015-2019) e a tendência linear pluvial para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.

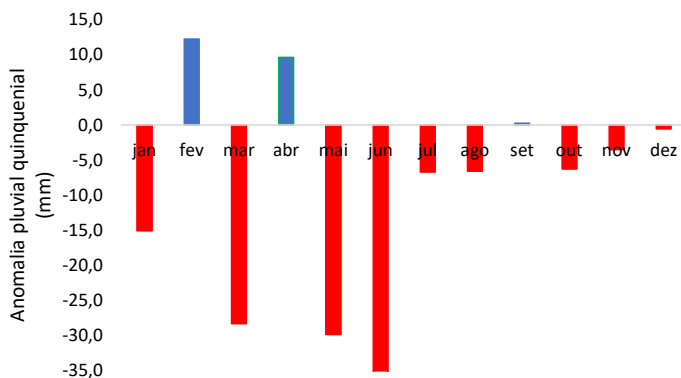


Fonte: O Autor.

Na Figura 7 observam-se as variabilidades das anomalias pluviais quinquenais (2015-2019) para o Povoado Ribeira de Cabaceiras. Neste período, predominou anomalias negativas, oscilando de 35 mm (junho) a 0,8 mm (dezembro). Elementos como cobertura de nuvens, intensidade do vento, chuvas esparsas, movimentos verticais descendentes e alta incidência de radiação solar contribuíram para essas variabilidades.

Os meses de fevereiro e abril apresentaram anomalias positivas com chuvas de fraca a moderada intensidade. Resultados similares são encontrados em Marengo et al. (2021), Medeiros et al. (2015) e IPCC (2023).

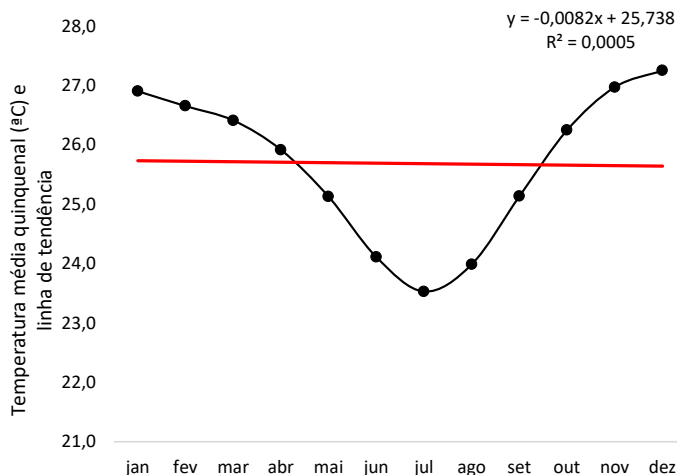
Figura 7. Anomalia da precipitação quinquenal (2015-2019) para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Na Figura 8 tem-se a temperatura média quinzenal (2015-2019) e tendência linear térmica para o Povoado Ribeira de Cabaceiras, registraram-se decréscimos térmicos de 27,0 °C (janeiro) a 23,8 °C (julho). Entre agosto (24,6 °C) e novembro (27,2 °C), houve aumento, atribuído a chuvas isoladas, aumento da cobertura de nuvens e redução na insolação, conforme Marengo et al. (2021).

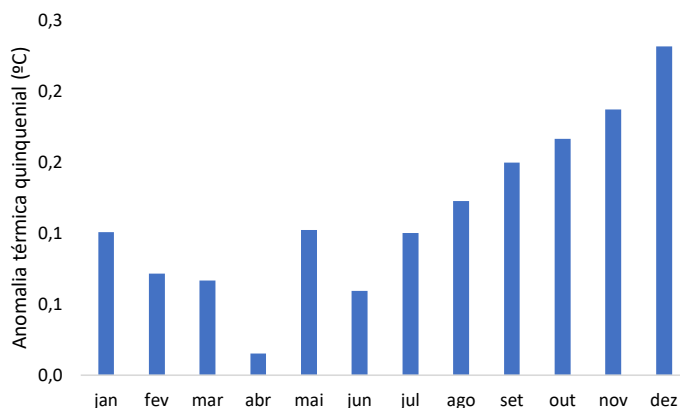
Figura 8. Temperatura média quinzenal (2015-2019) e a tendência linear térmica para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

As anomalias térmicas quinzenais apresentaram valores positivos, oscilando de 0,05 °C (abril) a 0,29 °C (dezembro), corroborando os resultados descritos pelo IPCC (2022, 2023).

Figura 9. Anomalia térmica quinzenal (2015-2019) para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.



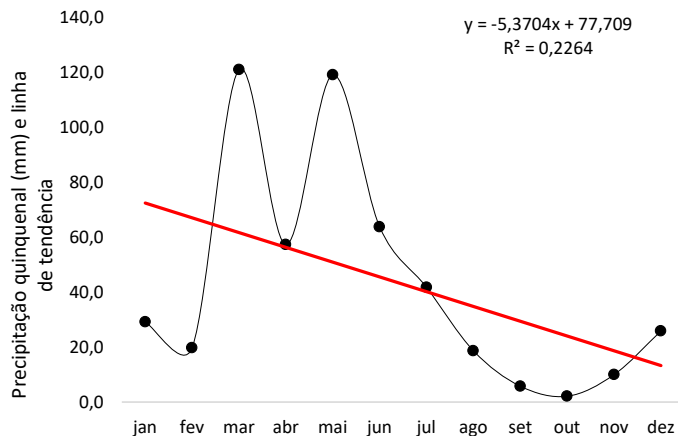
Fonte: O Autor.

As oscilações das precipitações quinzenais (2020-2023) (Figura 10) mostraram índices pluviais irregulares, com magnitudes e intensidades variadas, causadas por

sistemas descendentes, formações de linhas de instabilidade, aglomerados convectivos e ação dos ventos alísios. Os índices variaram de 1,2 mm a 120,5 mm.

Esse quinquênio apresentou tendência linear pluvial decrescente e R^2 de baixa significância, demonstrando possibilidade de redução futura das precipitações no Povoado Ribeira de Cabaceiras, conforme IPCC (2021, 2022, 2023).

Figura 10. Precipitação quinzenal (2020-2023) e a tendência linear pluvial para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.

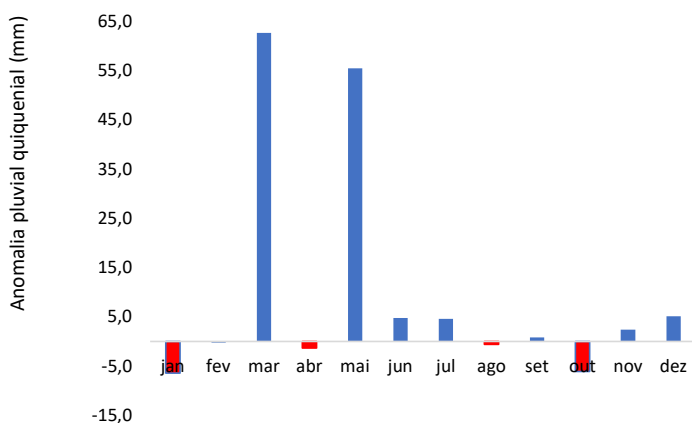


Fonte: O Autor.

As anomalias positivas e irregulares oscilaram entre 0,5 mm (setembro) e 64,7 mm (março), com exceção dos meses de janeiro, abril, agosto e outubro (Figura 11), que registraram anomalias negativas entre 0,1 °C e 6,2 °C.

Essas irregularidades térmicas resultaram de sistemas de meso e microescala, bem como dos efeitos regionais e locais. Resultados semelhantes são apresentados por Medeiros et al. (2015) e IPCC (2022, 2023).

Figura 11. Anomalia da precipitação quinzenal (2015-2019) para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.

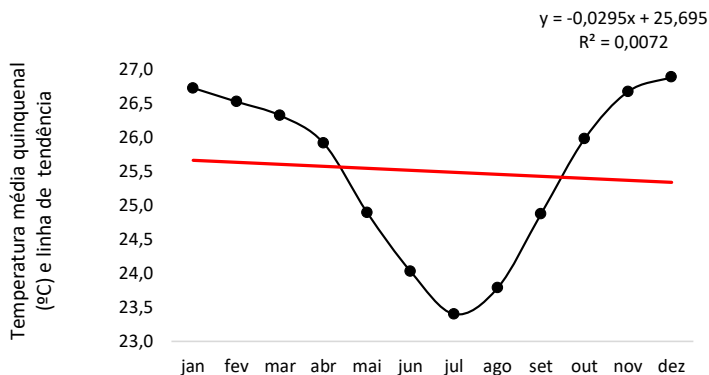


Fonte: O Autor.

A temperatura média quinzenal entre 2020-2023 (Figura 12) apresentou redução térmica de janeiro a julho (26,7 °C a 23,2 °C), e aumento de agosto a janeiro (23,7 °C a 27,0 °C). Essas variabilidades térmicas ocorreram devido a fatores regionais e locais, e à atuação de sistemas de meso e microescala que sofreram bloqueios, reduzindo a intensidade do vento e a cobertura de nuvens. Marengo et al. (2011) corroboram com essas discussões.

As oscilações térmicas quinzenais estudadas apresentaram tendência linear decrescente e R^2 de baixa significância.

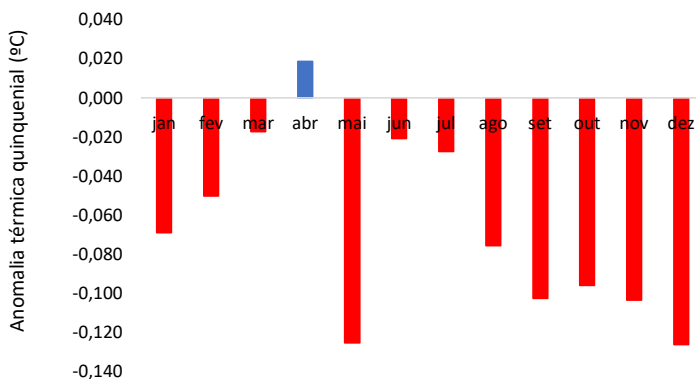
Figura 12. Temperatura média quinzenal (2020-2023) e a tendência linear térmica para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

As oscilações térmicas quinzenais (2020-2023) (Figura 13) registraram anomalias negativas entre 0,15 °C e 0,01 °C. Os meses com maiores variações negativas foram fevereiro, março, junho e julho; as menores, entre agosto e janeiro. Abril apresentou anomalia positiva de 0,02 °C, ocasionada por queimadas e baixa cobertura de nuvens. As oscilações desse quinquênio se mantiveram dentro das normalidades térmicas, conforme Medeiros et al. (2022).

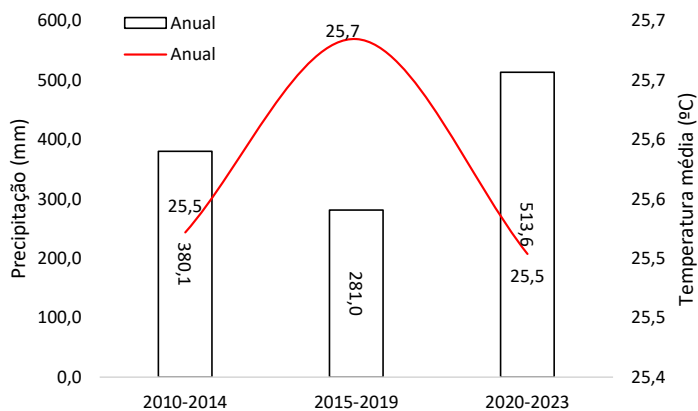
Figura 13. Anomalia térmica quinzenal (2020-2023) para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Na Figura 14 têm-se as variabilidades pluviiais e térmicas anuais quinquenais (2010-2014, 2015-2019 e 2020-2023) para o Povoado Ribeira de Cabaceiras. As variabilidades anuais pluviiais registradas foram de 380,1 mm (2010-2014), com acréscimo de 135 mm em relação ao quinquênio 2020-2023 e redução de 73,3 mm comparado ao segundo quinquênio (2015-2019). Houve acréscimo pluvial de 182,8 mm entre o segundo e o terceiro quinquênio.

Figura 14. Precipitação e temperatura anual quinquenal (2010-2014, 2015-2019 e 2020-2023 para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

As oscilações pluviiais resultaram da atuação de efeitos de meso e microescala, além de fatores regionais e locais, conforme discutido por Marengo et al. (2011), Medeiros et al. (2015) e IPCC (2023).

As temperaturas médias entre os quinquênios não apresentaram diferença entre o primeiro e o terceiro (25,5 °C). Contudo, em relação ao segundo quinquênio, houve aumento de 0,2 °C. Essa flutuação foi ocasionada por queimadas, troca de calor e baixa intensidade dos ventos, como relatado pelo IPCC (2022, 2023).

CONCLUSÕES

O monitoramento das condições climáticas regionais e locais, visando à identificação de alterações que possam ocasionar impactos nos sistemas de produção, manejo e planejamento agrícola, represamento e armazenamento de água, além do conforto térmico da população, é de fundamental importância para os responsáveis pelas tomadas de decisão nos setores agropecuário e de recursos hídricos, tanto regional quanto local. Isso possibilita ações mais assertivas e eficientes que impactem positivamente os sistemas produtivos envolvidos.

As elevações nos índices pluviiais foram decorrentes de chuvas extremas, com alta magnitude e amplitude em curto intervalo de tempo, provocadas por movimentos atmosféricos descendentes e pela estabilidade térmica.

O acréscimo de 0,2°C observado na temperatura do segundo quinquênio decorre das flutuações das temperaturas mínimas na região, que apresenta variabilidades significativas.

REFERÊNCIAS

- BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As plantas e o clima: princípios e aplicações**. - Guaíba: Agro livros, 352 p. 2017.
- CAVALCANTI, E. P.; SILVA, E. D. V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8, 1994. Belo Horizonte, **Anais...Belo Horizonte: SBMET**, 1, p.154-157. 1994.
- 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**, 10. p.140-147. 2006.
- CLEMENTE, C.M.S. **Serviços ambientais e valoração dos estoques de carbono no semiárido baiano**. 2021. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Geografia-Tratamento da Informação Espacial). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2021.
- COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. **Revista Climanalise**, Edição Comemorativa de 30 anos do Climanalise, p. 55 – 61. 2016.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Alerta sobre degradação de um terço dos solos do planeta. **ONU News**, 9 dez. 2021. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2021/12/1773222>. Acesso em: [09/07/2025].
- GIULIO, G. M. D; TORRES, R. R.; VASCONCELLOS, M. P.; BRAGA, D. R. G. C.; MANCINI, R. M.; LEMOS, M. C. Eventos extremos, mudanças climáticas e adaptação no Estado de São Paulo. **Ambiente & Sociedade**, v. 22, 2019.
- IPCC - International Panel on Climate Change. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press. 2021.
- IPCC. Intergovernmental Painel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2023.
- IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, H. O. PÖRTNER, D. C.; ROBERTS, E. S.; POLOCZANSKA, K.; MINTENBECK, M.; TIGNOR, A.; ALEGRÍA, M.; CRAIG, S.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, V.; MÖLLER, A. OKEM (eds.). Cambridge University Press. 2022.
- MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, 27, 149-175. 2008.
- MARENGO, J. A., ALVES, L. M., BESERRA, E. A., LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, 1, 385-422. 2011.
- MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; CUARTAS, L. A.; DEUSDARÁ LEAL, K. R.; BROEDEL, E.; SELUCHI, M. E.; MICHELIN, C. M.; DE PRAGA BAIÃO, C. F.; CHUCHÓN ÂNGULO, E.; ALMEIDA, E. K.; KAZMIERCZAK, M. L.; MATEUS, N. P. A.; SILVA, R. C.; BENDER, F. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: Characterization, Causes, and Impacts. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 1-20, 2021.
- MARENGO, J. A.; JIMENEZ, J. C.; ESPINOZA, J.; CUNHA, A. P.; ARAGÃO, L. E. O. Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia-Cerrado transition zone. **Scientific Reports**, v. 12, p. 457, 2022.
- HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

MEDEIROS, R. M.; FRANÇA, M. V.; SABOYA, L. M. F.; HOLANDA, R. M.; WAGNER, R. B.; BRAGA, S. E. Balanço hídrico e seus comparativos com 1996-2005, 2006-2015 em relação a 2015 no município de São Bento do Una - PE. **E-Acadêmica**, 3, e7532226. 2022.

MEDEIROS, R. M.; MATOS, R. M.; SABOYA, L. M. F. Oscilações Pluviométricas e da Temperatura Média do Ar em Seis Regiões Homogêneas do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física** V. 08 N. 03. 327-340. 2015.

MEDEIROS, R. M.; SILVA, V. P.; MORAES, A. S.; PISCOYA, V.; FRANCA, M. V.; SABOYA, L. M. F. Decadal Precipitation in São Bento Una - Pernambuco, Brazil. **ijssrm.humanjournals.com**. 19, 42 - 56. 2021.

SALES, M. C. L.; RAMOS, V. M. Caracterização ambiental das áreas sob influência do reservatório de Bocaina (PI) com base na compartimentação geomorfológica. **Carta CEPRO** 18, 149-161. 2000.

SILVA, A. M.; COSTA, D. L. C. R.; LINS, C. J. C. Precipitações no Nordeste Brasileiro: tendências de variação e possíveis implicações na agricultura. **Anais...Semana do Meio Ambiente**, Recife 5. 2008.

Capítulo 12 - INFLUÊNCIA DOS FENÔMENOS DE LARGA ESCALA EL NIÑO E LA NIÑA NOS ÍNDICES PLUVIAIS DO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRASIL

Ana Karolina Peres de Melo Silva
Salatiel Ewen Braga
Raimundo Mainar de Medeiros
Romildo Morant de Holanda
Vinícius Dantas de Araújo

RESUMO

No regime climático sazonal de uma determinada localidade, não são raras as ocorrências de oscilações severas que alteram o padrão climático esperado para o período. Dentre as atividades produtivas mais impactadas por essas flutuações, destaca-se a agricultura, altamente dependente da regularidade do clima. Este estudo analisou as variabilidades pluviais entre 2010 e 2023 durante a ocorrência dos fenômenos de larga escala El Niño e La Niña, com o objetivo de identificar a intensidade desses eventos frente aos cenários de seca ou chuva no Povoado Ribeira de Cabaceiras – PB. Os dados pluviais mensais (mm), referentes ao período de 2010 a 2023, foram interpolados pelo método da Média Ponderada pelo Inverso da Distância ao Quadrado (IDW), utilizando-se dados dos municípios circunvizinhos: São João do Cariri, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel, Boqueirão e Boa Vista. Os valores térmicos médios do ar foram estimados com o uso do software Estima T, cujo modelo empírico baseia-se em uma superfície quadrática a partir das coordenadas de longitude, latitude e altitude. A série térmica utilizada corresponde ao mesmo período das análises pluviais. A interferência antrópica tem se mostrado uma causa relevante nas variabilidades climáticas observadas na região. A associação entre os fenômenos El Niño e La Niña e os eventos extremos de seca e chuva demonstrou uma concordância parcial, especialmente no que diz respeito às chuvas intensas, indicando a atuação de outros fatores influenciadores na variabilidade climática local e evidenciando a complexidade do sistema climático regional.

Palavras-chave: Eventos extremos, Variabilidade climática, Atividades agropecuárias, Impactos sazonais, Interferência antrópica.

INFLUENCE OF LARGE-SCALE PHENOMENA EL NIÑO AND LA NIÑA ON RAINFALL INDEXES IN THE VILLAGE OF RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRAZIL

ABSTRACT

In the seasonal climate regime of a given location, it is not uncommon for severe fluctuations to occur, altering the expected climate pattern for the period. Among the most impacted productive activities by such changes is agriculture, which is highly dependent on climate regularity. This study analyzed rainfall variability from 2010 to 2023 during the occurrence of the large-scale El Niño and La Niña phenomena, aiming to identify the intensity of these events in relation to drought or rainfall scenarios in the village of Ribeira de Cabaceiras – PB. Monthly rainfall data (mm) from 2010 to 2023 were interpolated using the Inverse Distance Weighted (IDW) method, based on data from surrounding municipalities: São João do Cariri, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel,

Boqueirão, and Boa Vista. Average air temperature values were estimated using the Estima_T software, whose empirical model is based on a quadratic surface derived from longitude, latitude, and altitude coordinates. The thermal data series corresponds to the same period as the rainfall analyses. Anthropogenic interference has proven to be a relevant cause of the climatic variability observed in the region. The association between El Niño and La Niña phenomena and extreme drought and rainfall events showed partial agreement, especially regarding intense rainfall, indicating the influence of other factors on local climate variability and highlighting the complexity of the regional climate system.

Keywords: Extreme events, Climate variability, Agricultural activities, Seasonal impacts, Anthropogenic interference.

INTRODUÇÃO

No Brasil, múltiplas pesquisas vêm procurando estabelecer a relação entre o fenômeno ENOS e suas alterações nos padrões de chuva, por vezes em excesso, bem como nos eventos de secas anômalas (Marcuzzo e Romero, 2013; Oliveira et al., 2015; Emiliano et al., 2018; Oliveira et al., 2020).

O El Niño e a Oscilação Sul, normalmente designados pela sigla ENOS, apresentam duas fases: a fase quente (positiva) e a fase fria (negativa). A fase quente, chamada de El Niño, representa o aquecimento das águas acompanhado de uma diminuição da pressão atmosférica na região do Pacífico leste e, geralmente, está associada a períodos de seca. A fase fria, conhecida como La Niña, representa o fenômeno oposto, estando associada a períodos mais úmidos (Medeiros et al., 2016).

O El Niño e a La Niña são fenômenos meteorológicos decorrentes de variações periódicas nas temperaturas da superfície do oceano Pacífico. O El Niño está associado ao aquecimento anômalo das águas, enquanto a La Niña está relacionada ao resfriamento anômalo. Essas variações exercem efeitos globais sobre os padrões climáticos, incluindo a precipitação (Oliveira et al., 2017).

Diversos cientistas e pesquisadores têm mostrado que os eventos El Niño/La Niña não promovem grandes flutuações pluviométricas em alguns municípios da região semiárida brasileira. Essa região apresenta alterações na variabilidade climática, tanto decadal quanto sazonal, resultando em escassez hídrica nos corpos d'água intermitentes e pluviais (Marengo et al., 2011).

A alteração nos regimes pluviais da Região Nordeste do Brasil, especialmente na Região Semiárida, deve-se em grande parte a eventos climatológicos de grande escala, como o El Niño/La Niña, que ocasionam o aquecimento ou resfriamento das águas do Oceano Pacífico Equatorial, influenciando o clima local, regional e global (IPCC, 2014).

Medeiros et al. (2016), ao estudarem os eventos El Niño/La Niña e sua influência sobre os dias com chuva em Bom Jesus – PI, destacaram que, para o Nordeste brasileiro, os anos com El Niño estão associados à escassez, enquanto os anos com La Niña registram chuvas abundantes. Já nas regiões Sul e Sudeste da América do Sul, são observadas condições climáticas contrárias.

Lima et al. (2014) analisaram os eventos extremos de precipitação em Campina Grande – PB, com dados diários entre 1970 e 2010. Os eventos analisados foram aqueles com maior intensidade diária de precipitação. Os resultados indicaram mudanças no comportamento das chuvas a partir da década de 1970, com intensificação da precipitação máxima e aumento do número de eventos superiores a 80 mm. No entanto, não foi

observada uma relação direta entre a intensificação das chuvas e a ocorrência dos eventos ENOS. Os eventos extremos foram mais evidentes na estação chuvosa (88%), e menos frequentes na estação seca (12%). Medeiros et al. (2012), analisando a climatologia da precipitação em Bananeiras – PB (1930–2011), constataram que as chuvas são essenciais à sustentabilidade agroindustrial, mesmo diante da influência dos eventos extremos.

Santos et al. (2010) afirmam que, com o estudo do Índice de Oscilação Sul e dos eventos El Niño/La Niña, é possível prever a ocorrência de eventos extremos de chuva ou seca em determinadas regiões, o que favorece o planejamento no setor agrícola, altamente dependente das chuvas para garantir produtividade e desenvolvimento econômico regional.

Gross et al. (2015) e Tsakiris et al. (2007) destacaram que a caracterização pluviométrica é fundamental para a estimativa e o monitoramento da variação de eventos climáticos relacionados ao excesso ou à escassez de chuvas. Entre os métodos utilizados na identificação, quantificação e controle dos fenômenos de estiagem e seca, os índices de seca constituem ferramenta importante, por simplificarem as interações complexas entre os diversos parâmetros climáticos.

França et al. (2020) realizaram o cômputo do balanço hídrico frente aos eventos de larga escala El Niño(a), apontando para a possibilidade de ocorrência de erosões em Amparo de São Francisco (SE). Os autores forneceram subsídios para que gestores públicos possam planejar ações que reduzam as perdas de solo. A erosão na área de estudo resulta da combinação entre ocupação e uso desordenado do território, solos frágeis e um regime climático propício à sua ocorrência, além de fatores abióticos. Os índices de aridez contribuíram para os processos erosivos nos períodos de La Niña (3,63%), El Niño (21,78%) e da série histórica (1963–2019) (35,85%).

O ENOS influencia consideravelmente o clima nas regiões em que atua, podendo provocar longos períodos de seca ou totais pluviométricos acima da média histórica, conforme Romero (2013). Segundo Marengo (2008), em decorrência da atuação do ENOS, a bacia amazônica enfrentou uma intensa seca em 2005, com picos de chuva abaixo dos 60 mm. Já em 2009, os níveis pluviométricos estiveram entre 100 e 200 mm acima do normal. Santos et al. (2010) afirmaram que os Índices de Oscilação Sul (IOS) e os eventos El Niño/La Niña podem contribuir de forma significativa para a previsão de eventos extremos de chuva ou seca em determinadas regiões.

Este estudo tem como objetivo analisar a variabilidade pluviométrica entre os anos de 2010 e 2023, observando a influência dos eventos de larga escala El Niño/La Niña, com a finalidade de identificar a intensidade desses fenômenos diante dos cenários de seca ou chuva no Povoado Ribeira de Cabaceiras – PB, Brasil.

METODOLOGIA

Os dados pluviais mensais (mm), referentes ao período de 2010 a 2023, foram interpolados pelo método da Média Ponderada pelo Inverso da Distância ao Quadrado, considerando os municípios circunvizinhos: São João do Cariri, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel, Boqueirão e Boa Vista (AESA, 2023).

A Capacidade de Água Disponível (CAD) é definida por Lepsch (2011) como a “quantidade de água retida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente”. Neste estudo, foi adotada uma CAD de 100 mm para o cálculo do Balanço Hídrico (BH).

Os valores térmicos médios do ar foram estimados por meio do software Estima_T. O modelo empírico utilizado para essa estimativa térmica baseia-se em uma

superfície quadrática, em função das coordenadas geográficas locais: longitude, latitude e altitude (Cavalcanti et al., 2006). A série de dados térmicos corresponde ao mesmo período da série pluvial. O cálculo do Balanço Hídrico foi realizado conforme a metodologia proposta por Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955), utilizando-se uma planilha eletrônica desenvolvida por Lima et al. (2024).

Tabela 1. Anos, eventos de larga escala (El Niño/La Niña), classificações e intensidade para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Ano	Classificação	Intensidade
2010	La Niña	Forte
2011	La Niña	Forte
2012	El Niño	Moderado
2013	El Niño	Fraco
2014	La Niña	Fraco
2015	El Niño	Forte
2016	El Niño	Forte
2017	La Niña	Moderada
2018	El Niño	Moderado
2019	El Niño	Moderado
2020	La Niña	Moderada
2021	El Niño	Moderado
2022	La Niña	Moderada
2023	El Niño	Moderado

Fonte: CPTEC/INPE.

RESULTADO E DISCUSSÃO

A superfície do solo, com e/ou sem vegetação, é o principal receptor de radiação solar e atmosférica, além de também ser emissor de radiação. Seu balanço de radiação, variável ao longo do dia e do ano, ocasiona alterações nos índices térmicos do solo e do ar. Assim, torna-se relevante estudar suas oscilações térmicas e anomalias no Povoado Ribeira de Cabaceiras, diante da atuação do fenômeno de larga escala La Niña.

Os elementos do balanço hídrico de uma determinada área identificam as potencialidades e fragilidades para a produção agrícola, os excedentes hídricos e suas contribuições ao poder erosivo da área durante eventos climáticos como El Niño e La Niña (Medeiros e Holanda, 2020).

Na Tabela 2, observam-se as variabilidades dos elementos do balanço hídrico para o ano de 2010, durante o evento de La Niña. As oscilações térmicas variaram de 23,4 °C (julho) a 27,4 °C (janeiro), com média anual de 25,7 °C. O índice pluviométrico anual foi de 383,9 mm, com variações mensais de 0,0 mm (novembro) a 125,0 mm (junho). Essa distribuição foi irregular e não condizente com os padrões típicos da La Niña (Medeiros, 2018).

Tabela 2. Elementos do balanço hídrico do ano 2010 em fase do La Niña no Povoado.

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	27,4	57,3	157,0	57,4	99,6	0,0
Fevereiro	27,1	9,9	140,6	9,9	130,7	0,0
Março	26,9	32,2	149,4	32,2	117,2	0,0
Abril	26,4	39,1	133,1	39,1	94,0	0,0
Mai	25,4	5,7	117,7	5,7	112,0	0,0
Junho	24,2	125,0	95,9	95,9	0,0	0,0
Julho	23,4	21,3	88,1	35,5	52,6	0,0
Agosto	23,7	13,2	92,7	21,4	71,4	0,0
Setembro	24,8	5,2	106,6	9,5	97,1	0,0
Outubro	25,8	50,0	128,3	51,3	77,0	0,0
Novembro	26,5	0,0	137,8	0,8	137,0	0,0
Dezembro	26,6	25,0	147,5	25,2	122,3	0,0
Ano	25,7	383,9	1494,7	383,9	1110,8	0,0

Fonte: O Autor.

A ETP superou os valores pluviométricos em 289,4%, demonstrando que o poder evapotranspirativo do ano ultrapassou a capacidade de retenção hídrica. A evaporação igualou-se aos índices pluviométricos, ou seja, toda a água precipitada evaporou após as chuvas. Não foram registrados excedentes hídricos, e as deficiências totalizaram 1.110,8 mm, agravando a seca no solo, conforme discutido por Medeiros (2018).

Na Tabela 3, observam-se pequenas flutuações dos elementos do balanço hídrico em relação ao ano anterior, indicando que a atuação do La Niña nos anos de 2010 e 2011 não foi suficiente para alterar significativamente os padrões atmosféricos locais.

Tabela 3. Elementos do balanço hídrico do ano 2011 em fase do La Niña no Povoado.

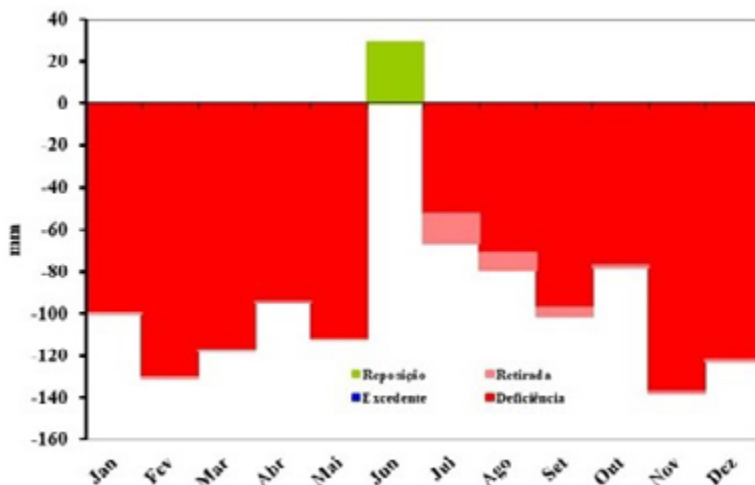
Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,5	55,3	141,2	55,4	85,8	0,0
Fevereiro	26,3	6,2	127,6	6,2	121,3	0,0
Março	26,0	32,2	133,6	32,2	101,4	0,0
Abril	25,5	35,4	119,6	35,4	84,2	0,0
Mai	24,8	5,6	110,0	5,6	104,4	0,0
Junho	23,8	122,2	91,9	91,9	0,0	0,0
Julho	23,2	20,8	87,3	35,5	51,8	0,0
Agosto	23,7	41,5	93,7	47,8	45,8	0,0
Setembro	24,7	4,8	106,4	10,7	95,7	0,0
Outubro	25,8	44,4	129,2	46,3	82,9	0,0
Novembro	26,5	0,0	138,1	1,1	137,0	0,0
Dezembro	26,6	26,5	147,3	26,8	120,6	0,0
Ano	25,3	394,9	1425,9	394,9	1031,0	0,0

Fonte: O Autor.

A Figura 1 representa o extrato do balanço hídrico para 2010 durante a fase La Niña. Observa-se a predominância de deficiência hídrica de moderada a forte entre julho e maio, com retirada de água do solo entre julho e outubro. O mês de junho apresentou reposição hídrica de baixa intensidade.

A CAD (Capacidade de Água Disponível) de 100 mm não foi suficiente para gerar excedentes hídricos, pois as chuvas ocorridas foram inferiores a esse valor, exceto em julho.

Figura 1. Extrato do balanço hídrico para o ano de 2010 em Fase La Niña no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



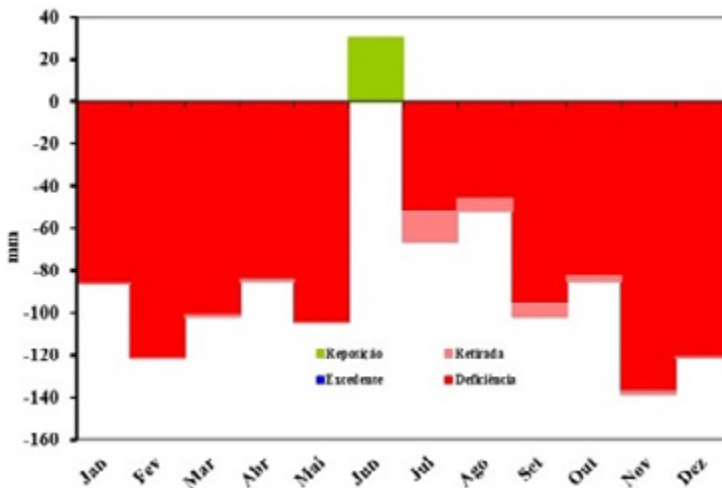
Fonte: O Autor.

Essas variabilidades corroboram com os estudos de Marengo et al. (2023) e França e Medeiros (2022). Os autores Holanda et al. (2019), Matos et al. (2018) e Passos et al. (2017) destacam que o balanço hídrico é obtido a partir da demanda e disponibilidade hídrica, com base na precipitação (P), evapotranspiração (ETP), evaporação (EVR), armazenamento (ARM), deficiência (DEF) e excedente (EXC). As análises do balanço hídrico fornecem informações essenciais para agricultores, pesquisadores e tomadores de decisão.

O ano de 2011 (Figura 2), também sob influência da La Niña, apresentou distribuição pluviométrica irregular, sem excedentes hídricos e com retirada de água do solo entre julho e agosto. Pequena reposição foi registrada em junho. As deficiências ocorreram de julho a maio. As precipitações não superaram a CAD, como afirmam Matos et al. (2018) e o IPCC (2021).

Medeiros (2018) analisou a variabilidade pluviométrica e o número de dias chuvosos em Recife - PE, em relação aos fenômenos El Niño e La Niña. O autor concluiu que, durante o quadrimestre seco (outubro a janeiro), esses fenômenos tiveram pouca influência sobre o número de dias chuvosos, sendo os fatores locais, como brisa, convecção e linhas de instabilidade, os principais influenciadores. Resultados semelhantes foram encontrados por Medeiros et al. (2016) em Bom Jesus - PI.

Figura 2. Extrato do balanço hídrico para o ano de 2011 em Fase La Niña no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Com temperatura anual de 23,5 °C, variando de 23,2 °C (junho) a 26,6 °C (Tabela 3), essas oscilações corroboram com os dados do IPCC (2021, 2022). O total pluviométrico foi de 394,9 mm, com valores mensais de 0,0 mm (novembro) a 122,2 mm (junho). Segundo Marengo et al. (2023), eventos extremos podem ocorrer a qualquer momento. A ausência de excedentes hídricos deve-se à precipitação inferior à CAD. As deficiências somaram 1.031 mm, com menor valor em junho e o maior em novembro. A evaporação praticamente igualou-se à precipitação, e a ETP superou em 261,1 mm. Estes dados são semelhantes aos encontrados por Medeiros (2018) e Marengo et al. (2023).

Tabela 4. Elementos do balanço hídrico do ano 2014 em fase do La Niña no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,7	0,2	144,1	0,2	143,9	0,0
Fevereiro	26,4	2,0	128,8	2,0	126,8	0,0
Março	26,2	8,2	136,6	8,2	128,4	0,0
Abril	25,9	90,0	124,1	90,0	34,1	0,0
Maio	25,3	21,3	116,3	21,3	95,0	0,0
Junho	24,3	33,9	96,7	33,9	62,8	0,0
Julho	23,5	58,4	89,3	58,4	30,9	0,0
Agosto	24,0	30,2	96,8	30,2	66,6	0,0
Setembro	25,1	7,7	111,7	7,7	104,0	0,0
Outubro	26,3	7,0	137,0	7,0	130,0	0,0
Novembro	27,0	32,5	147,2	32,5	114,7	0,0
Dezembro	27,2	28,7	158,7	28,7	130,0	0,0
Média/Total	25,7	320,1	1487,5	320,1	1167,4	0,0

Fonte: O Autor.

Chuvas irregulares e mal distribuídas, de intensidade moderada a fraca, influenciadas por trocas de calor, cobertura de nuvens, umidade relativa variável, movimentos verticais descendentes e bloqueios atmosféricos, resultaram em um total de 320,1 mm em 2014 (Tabela 4). As flutuações mensais variaram de 0,2 mm (janeiro) a 90 mm (abril). Não foram registrados excedentes hídricos. As deficiências totalizaram 1.167,4 mm, com oscilações entre 34,1 mm (abril) e 143,9 mm (janeiro). A ETP foi 364% superior à precipitação anual. Resultados compatíveis são descritos no IPCC (2014, 2022) e em Medeiros (2018).

A Tabela 5 mostra ausência de excedentes hídricos em 2017, com deficiências de 1.312,4 mm, variando entre 46,7 mm e 149,2 mm de julho a dezembro. A evaporação igualou-se à precipitação, e a ETP superou em 759,5%. O total pluviométrico foi de 172,8 mm, com oscilações de 0,0 mm a 60 mm entre novembro e abril. As oscilações térmicas variaram de 23,6 °C (julho) a 26,9 °C (janeiro), com média anual de 25,7 °C.

Tabela 5. Elementos do balanço hídrico do ano 2017 em fase do La Niña no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,9	1,4	148,3	1,4	146,9	0,0
Fevereiro	26,8	0,7	134,8	0,7	134,1	0,0
Março	26,5	1,6	142,3	1,6	140,7	0,0
Abril	26,0	60,0	126,5	60,0	66,5	0,0
Mai	25,2	16,6	115,6	16,6	99,0	0,0
Junho	24,2	30,4	95,5	30,4	65,1	0,0
Julho	23,6	43,4	90,1	43,4	46,7	0,0
Agosto	24,0	6,4	96,5	6,4	90,1	0,0
Setembro	25,0	7,9	109,6	7,9	101,7	0,0
Outubro	26,0	2,4	132,6	2,4	130,2	0,0
Novembro	26,7	0,0	142,2	0,0	142,2	0,0
Dezembro	26,8	2,0	151,4	2,0	149,4	0,0
Média/Total	25,7	172,8	1485,2	172,8	1312,4	0,0

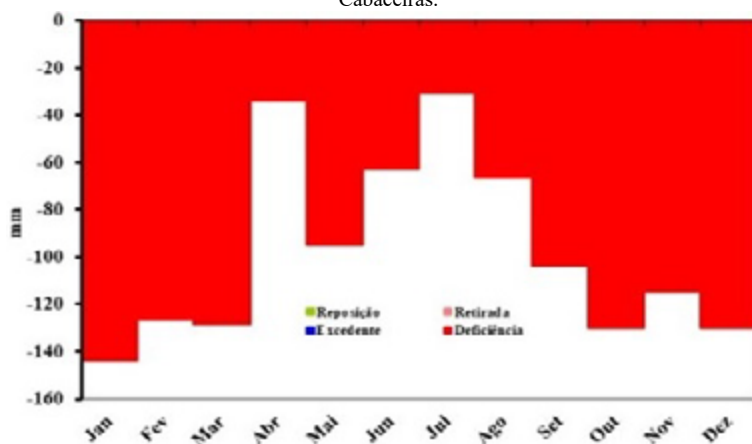
Fonte: O Autor.

Os longos períodos sem chuva tornam-se problemas socioambientais sérios no semiárido nordestino, aumentando a vulnerabilidade hídrica da região (Campos, 2014).

A CAD de 100 mm não foi suficiente para suprir as necessidades do solo e das plantas, tampouco para gerar excedentes. Assim, houve deficiência hídrica intensa durante todo o ano de 2014, conforme demonstram as Figuras 3 e 4. Os resultados são coerentes com os estudos de Marengo e Camargo (2008) e Marengo et al. (2011).

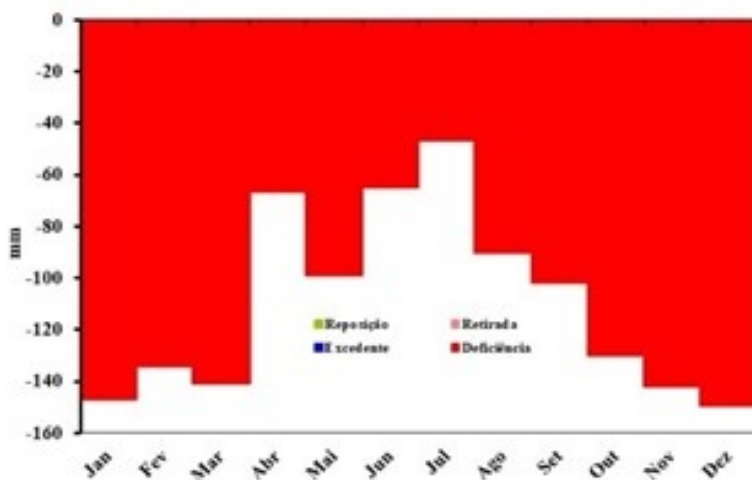
França et al. (2018) calcularam o balanço hídrico climatológico em São Bento do Una e Serra Talhada - PE, observando que o El Niño influenciou nos índices pluviométricos (aumentos ou reduções). No episódio La Niña, as chuvas foram distribuídas de forma irregular, afetando o balanço hídrico e os excedentes/deficiências.

Figura 3. Extrato do balanço hídrico para o ano de 2014 em Fase La Niña no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Figura 4. Extrato do balanço hídrico para o ano de 2017 em Fase La Niña no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Oliveira et al. (2015) esclareceram que o El Niño, no Nordeste do Brasil, é um fenômeno que reduz a pluviosidade local, ao mesmo tempo em que aumenta na região Sul.

As flutuações térmicas mensais em 2020 variaram de 23,4 °C (julho) a 27,0 °C (dezembro), com média de 25,6 °C. Foi classificado como um ano com chuva normalizada, com total de 470,7 mm, variando de 0,2 mm (outubro) a 225,0 mm (março). A ETP superou a precipitação em 213,7%, com mínima de 88,0 mm (julho) e máxima de 154,1 mm (dezembro). Não houve excedentes hídricos, e a deficiência hídrica totalizou 1.005,9 mm.

Tabela 6. Elementos do balanço hídrico do ano 2020 em fase do La Niña no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,9	7,7	148,0	7,7	140,3	0,0
Fevereiro	26,7	32,2	132,9	32,2	100,7	0,0
Março	26,5	225,0	141,1	141,1	0,0	0,0
Abril	26,0	87,0	126,4	114,3	12,1	0,0
Maio	25,1	55,8	114,3	80,9	33,4	0,0
Junho	24,1	29,2	94,7	44,3	50,3	0,0
Julho	23,4	12,9	88,0	21,6	66,5	0,0
Agosto	23,8	2,4	94,2	7,0	87,2	0,0
Setembro	24,9	10,8	108,4	12,7	95,7	0,0
Outubro	26,0	0,2	132,2	1,1	131,2	0,0
Novembro	26,7	4,4	142,3	4,6	137,7	0,0
Dezembro	27,0	3,1	154,1	3,2	151,0	0,0
Média/Total	25,6	470,7	1476,6	470,7	1005,9	0,0

Fonte: O Autor.

Os elementos do balanço hídrico do ano 2022 (Tabela 7) em fase do La Niña no Povoado Ribeira de Cabaceiras, registrou temperatura anual de 25,4°C; Precipitação anual de 778,4 mm, classificado como ano muito chuvoso, a evapotranspiração supera os pluviais, evaporou 720,1 mm bem inferior aos valores pluviais, está evaporação deve-se aos baixos índices térmico, cobertura de nuvem e baixa incidência da radiação. As deficiências hídricas totalizaram 720,6 mm e registrou-se excedentes hídricos de 58,3 mm nos meses de maio a julho.

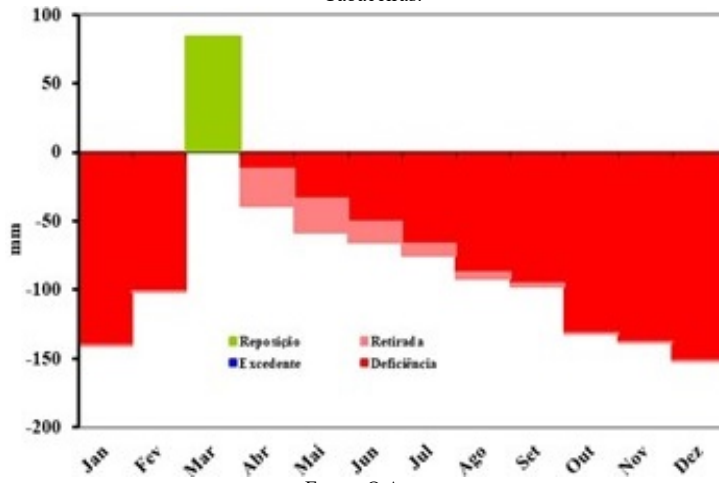
Tabela 7. Elementos do balanço hídrico do ano 2022 em fase do La Niña no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,5	50,4	139,9	50,8	89,2	0,0
Fevereiro	26,3	0,3	127,1	0,5	126,7	0,0
Março	26,0	118,5	133,1	118,5	14,6	0,0
Abril	25,6	36,6	120,2	36,6	83,6	0,0
Maio	24,9	263,4	110,9	110,9	0,0	52,5
Junho	23,9	95,4	92,6	92,6	0,0	2,8
Julho	23,3	91,0	88,1	88,1	0,0	2,9
Agosto	23,8	46,8	95,1	85,1	10,0	0,0
Setembro	24,9	0,2	108,7	41,0	67,6	0,0
Outubro	26,0	0,4	131,8	15,6	116,1	0,0
Novembro	26,7	28,4	141,7	32,2	109,5	0,0
Dezembro	26,8	47,0	151,6	48,2	103,4	0,0
Média/Total	25,4	778,4	1440,7	720,1	720,6	58,3

Fonte: O Autor.

O ano de 2020 (Figura 5) registrou reposição de água no solo no mês de março ocasionado por chuva extrema e isolada, nos demais meses predominaram as deficiências fraca a moderadas e as retiradas de água no solo entre abril e agosto, o ano em estudo foi considerado com chuva entre a normalidade.

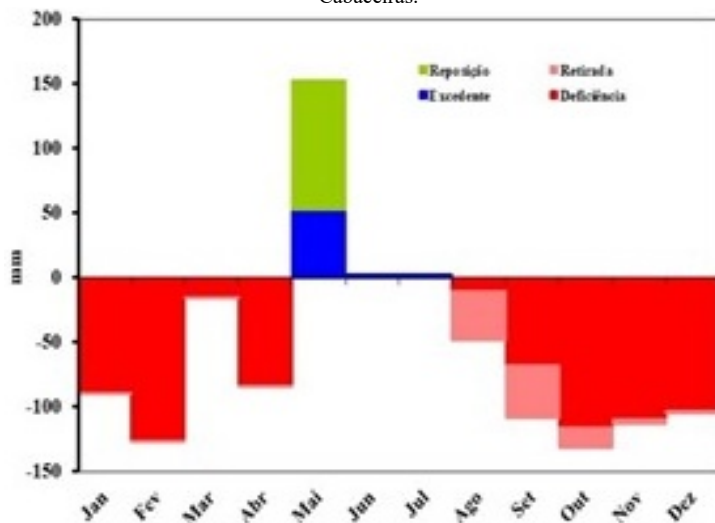
Figura 5. Extrato do balanço hídrico para o ano de 2020 em Fase La Niña no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Classificado como ano extremamente chuvoso (2022), registrou excedente fluindo de 3,5 mm a 49,9 mm entre maio e julho (Figura 6). Nos meses de agosto a setembro as retiradas de água no solo ocorreram e a predominância de deficiência hídrica foram de agosto a abril. Resultados similares foram observados nos estudos de Medeiros (2020).

Figura 6. Extrato do balanço hídrico para o ano de 2022 em Fase La Niña no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Com temperatura média anual de 25,4°C e suas flutuações mensais oscilando de 23,3°C (julho) a 26,8°C (dezembro), estas flutuações térmicas tem contribuições de focos de incêndios, alta intensidade de radiação solar, baixa cobertura de nuvens e ventos fracos. As oscilações pluviais fluem de 0,2 mm (setembro) a 263,4 mm (maio), com total anual de 778,4 mm, as flutuações irregulares e má distribuídas, ocasionadas pelas formações de linhas de instabilidade e aglomerados convectivos. Evapotranspirou 85,1% acima do índice pluvial anual, as flutuações mensais ocorreram de 88,1 mm (julho) a 151,6 mm (dezembro). Choveu 7,5% acima do valor evaporado anual, os índices evaporativos fluíram de 0,5 mm (fevereiro) a 118,5 mm (maço), saliente-se que mesmo assim os índices evaporativos superam os pluviais em quase todos os meses. Registrou-se deficiências hídricas fluindo de 0,0 entre os meses de maio a julho a 126,7 mm (fevereiro), estas variações nas deficiências estão interligadas as flutuações pluviais e aos efeitos regionais e local. Registrou-se excedentes hídricos nos meses de maio, junho e julho, totalizando 58,3 mm, conforme Tabela 8.

O déficit hídrico anotado na região do semiárido brasileiro segundo descrito por Marengo et al. (2011) é visivelmente observado nos resultados de diversos estudo e neste. Os resultados mostram que o Povoado Ribeira de Cabaceiras tem déficit ao longo de todo o ano na fase de La Niña. Destaca-se os anos 2010 e 2011 que registrou pequena flutuação de reposição de água no solo, assim como o ano de 2022, que ocorreu excedente hídrico provocados por eventos de chuvas extremas local.

Tabela 8. Elementos do balanço hídrico médio em Fase La Niña no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,5	50,4	139,9	50,8	89,2	0,0
Fevereiro	26,3	0,3	127,1	0,5	126,7	0,0
Março	26,0	118,5	133,1	118,5	14,6	0,0
Abril	25,6	36,6	120,2	36,6	83,6	0,0
Maio	24,9	263,4	110,9	110,9	0,0	52,5
Junho	23,9	95,4	92,6	92,6	0,0	2,8
Julho	23,3	91,0	88,1	88,1	0,0	2,9
Agosto	23,8	46,8	95,1	85,1	10,0	0,0
Setembro	24,9	0,2	108,7	41,0	67,6	0,0
Outubro	26,0	0,4	131,8	15,6	116,1	0,0
Novembro	26,7	28,4	141,7	32,2	109,5	0,0
Dezembro	26,8	47,0	151,6	48,2	103,4	0,0
Ano	25,4	778,4	1440,7	720,1	720,6	58,3

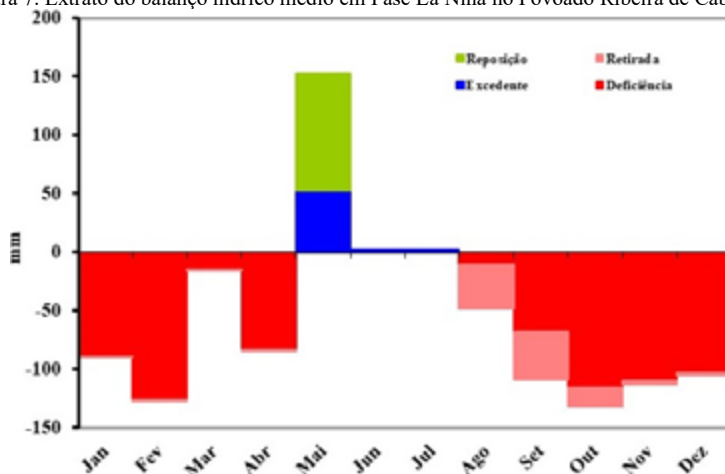
Fonte: O Autor.

Na Figura 7, observam-se o extrato do balanço hídrico médio, em Fase La Niña no Povoado Ribeira de Cabaceiras. Destaca-se excedente hídrico entre maio e junho, retirada de água no solo de agosto a dezembro, reposição de água no solo em maio e deficiências hídricas entre agosto e abril. Resultados similares foram observados nos estudos de França et al. (2020) e Medeiros e Holanda (2020).

O IPCC (2021) destaca que as alterações recentes no clima incluem o aumento da aridez e o agravamento da escassez hídrica, elementos que favorecem a ocorrência de desertificação. Esses fenômenos tornam-se ainda mais severos diante da maior incidência

de eventos extremos e desastres naturais, principalmente em áreas áridas, semiáridas e no semiárido brasileiro.

Figura 7. Extrato do balanço hídrico médio em Fase La Niña no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

De acordo com Middleton e Thomas (1997), a diminuição do índice de aridez pode ser interpretada como um sinal de avanço da desertificação. Desde a década de 1980, a Organização das Nações Unidas (ONU) define desertificação como o processo de degradação das terras em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, causado por uma combinação de fatores, incluindo variações climáticas e ações humanas. Tal degradação leva à perda ou comprometimento do potencial biológico do solo.

Na Tabela 9, são apresentados os valores dos índices de umidade, aridez e disponibilidade hídrica para o período de ocorrência do fenômeno La Niña no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

As oscilações nos índices de umidade e de disponibilidade hídrica estão associadas à má distribuição das chuvas, à ausência de contribuição de sistemas meteorológicos regionais e locais, e à ocorrência de bloqueios atmosféricos, que resultam em céu parcialmente encoberto e precipitações isoladas.

Já as variações no índice de aridez relacionam-se tanto ao uso e à ocupação do solo quanto a fatores abióticos, como práticas agrícolas inadequadas e desmatamento da vegetação nativa da caatinga.

Tabela 9. Representação dos índices: umidade, aridez e hídrico na fase de La Niña no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Anos	Índice umidade	Índice Aridez	Índice hídrico
2010	74,32	0,72	-0,45
2011	72,30	0,72	-0,45
2014	78,48	0,78	-0,47
2017	88,37	0,88	-0,53
2020	68,12	0,68	-0,41
2022	50,02	0,50	-0,26
Média	71,94	0,71	-0,43

Fonte: O Autor.

É importante observar que áreas com menor índice de aridez não necessariamente coincidem com zonas degradadas, e, inversamente, regiões com valores mais altos desse índice podem já apresentar degradação severa a ponto de serem classificadas como desertificadas. Essa discrepância pode estar ligada ao manejo inadequado do solo e dos recursos ambientais.

O domínio climático semiárido da região Nordeste é caracterizado como Tropical Quente Semiárido, evidenciando-se por temperaturas elevadas, taxas de evaporação intensas, índices de nebulosidade reduzidos, insolação acentuada e uma notável variabilidade nas chuvas, tanto em termos temporais quanto espaciais (Zanella, 2014; Costa et al., 2017; Santos, 2021)

No NEB, a quadra chuvosa, com chuvas superiores à média, tem sido associada ao fenômeno La Niña, enquanto o contrário ocorre com o evento El Niño, o que contraria os resultados encontrados neste estudo, o que registraram chuvas abaixo da climatologia. Entretanto, esses artifícios não são triviais, pois a quadra chuvosa oscila consideravelmente no tempo e no espaço e sofrem influências dos fenômenos climáticos de larga escala (Costa, 2012).

Portanto, entender os padrões e prever o comportamento pluviiais são necessários para realizações de planejamentos e gestões dos recursos hídrico e ambientais, assim como, para a tomada de decisão sobre a produção agrícola, agronegócio entre outras e demais atividades socioeconômicas, local e regional.

Tabela 10 tem-se as variações mensais e anuais dos elementos do balanço hídrico do ano 2012 em fase ao El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras. A temperatura anual de 25,5°C e suas oscilações inter mensais fluindo de 23,4°C (julho) a 27,1°C (dezembro). As chuvas totalizaram 593,7 mm e fluíram de 0,0 (outubro) a 138,4 mm (maio), A evaporação superou os índices pluviiais mensais e totalizou. Não se registrou excedentes hídricos. As deficiências hídricas totalizaram 862,3 mm e fluíram de 0,0 mm (maio) a 155,3 mm (dezembro).

Tabela 10. Elementos do balanço hídrico do ano 2012 em fase do El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,4	89,0	138,7	89,0	49,6	0,0
Fevereiro	26,3	1,0	126,7	1,0	125,7	0,0
Março	26,0	95,6	132,7	95,6	37,1	0,0
Abril	25,6	85,0	120,8	85,0	35,8	0,0
Maio	24,9	138,4	111,7	111,7	0,0	0,0
Junho	24,0	48,1	93,2	57,8	35,4	0,0
Julho	23,4	77,1	88,9	79,0	9,9	0,0
Agosto	23,9	47,1	96,6	53,0	43,6	0,0
Setembro	25,1	0,9	111,0	7,0	104,0	0,0
Outubro	26,1	0,0	134,5	2,3	132,2	0,0
Novembro	26,9	11,0	145,3	11,6	133,7	0,0
Dezembro	27,1	0,5	156,0	0,7	155,3	0,0
Média/Total	25,5	593,7	1456,0	593,7	862,3	0,0

Fonte: O Autor.

Devido a secura do solo a CAD de 100 mm não foi suficiente para ocasionar reposição de água e excedente hídrico. Os estudos de Marengo et al. (2021); IPCC (2021) corroboram com as discussões.

Tabela 11, observam-se as flutuações dos elementos do balanço hídrico no ano de 2013 em fase do evento La Niña. A temperatura anual é de 25,5°C, oscilando de 23,2°C (julho) a 27,0°C (dezembro). Com chuvas abaixo da média climatológica e com distribuição irregulares, ocasionados por chuvas moderadas e de alta intensidade em curto intervalo de tempo. O total anual foi de 207,9 mm, fluindo de 0,0 mm (agosto, novembro e dezembro) a 65,0 mm (fevereiro), para Marengo et al. (2023) e IPCC (2021) tais flutuações são corriqueiras na região semiárida brasileira.

Tabela 11. Elementos do balanço hídrico do ano 2013 em fase do El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

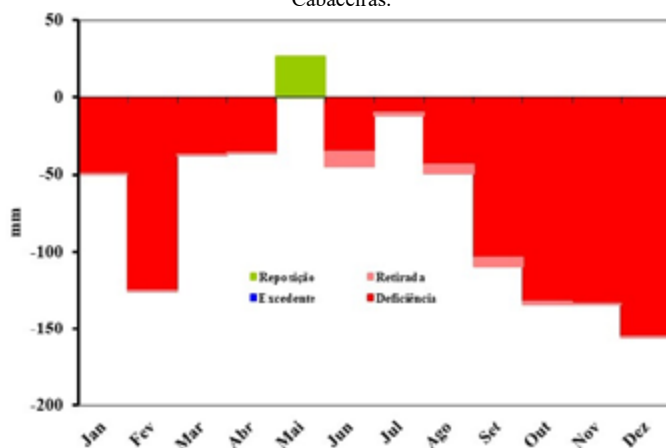
Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,8	37,0	146,7	37,0	109,7	0,0
Fevereiro	26,6	65,0	131,8	65,0	66,8	0,0
Março	26,4	34,2	139,6	34,2	105,4	0,0
Abril	25,9	1,9	124,1	1,9	122,2	0,0
Maio	24,8	19,0	110,2	19,0	91,2	0,0
Junho	23,8	29,2	90,7	29,2	61,5	0,0
Julho	23,2	18,9	85,7	18,9	66,8	0,0
Agosto	23,7	0,0	93,8	0,0	93,8	0,0
Setembro	24,9	1,3	109,0	1,3	107,7	0,0
Outubro	26,0	1,4	132,5	1,4	131,1	0,0
Novembro	26,8	0,0	143,3	0,0	143,3	0,0
Dezembro	27,0	0,0	154,6	0,0	154,6	0,0
Média/Total	25,5	207,9	1461,9	207,9	1254,0	0,0

Fonte: O Autor.

Os índices evaporativos foram iguais aos pluviais, ou seja, tudo que precipitou evaporou instantaneamente. Evapotranspirou 603,2%, acima dos índices pluviais, onde as flutuações térmicas contribuíram para estas elevações. A CAD de 100 mm não foi necessária para repor a água no solo e ocasionar excedentes hídricos. As deficiências hídricas totalizaram 1254,0 mm e fluíram de 61,5 mm (junho) a 54,6 mm (dezembro). Os elementos nuvens, insolação, vento contribuíram para as oscilações detectadas neste ano em estudo.

Na Figura 8 observam-se o extrato do balanço hídrico para o ano de 2012 em Fase El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras. Com chuva irregulares e má distribuída durante o ano estudado registra-se reposição de água no mês de maio, a CAD de 100 mm não foi suficiente par ocasionar excedente hídrico, as deficiências hídricas registra-se de junho a abril com intensidade moderada, a retirada da água no solo ocorrem entre junho a outubro.

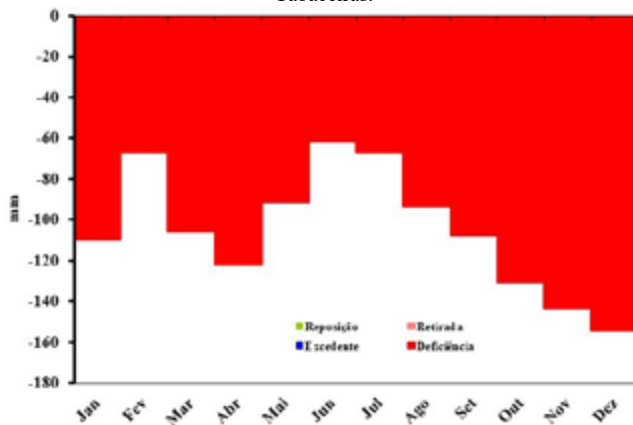
Figura 8. Extrato do balanço hídrico para o ano de 2012 em Fase El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Na figura 9 as distribuições mensais pluviiais não foram necessárias para ultrapassar a capacidade de campo para o ano de 2013, onde produziu deficiências hídricas fortes. Estudos de Marengo et al. (2023); IPCC (2022) e Medeiros (2020) corroboram com as discussões.

Figura 9. Extrato do balanço hídrico para o ano de 2013 em Fase El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

A Tabela 12, representa as variabilidades dos elementos do balanço hídrico do ano 2015 em fase do El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras. O ano foi classificado como muito chuvoso, onde os aglomerados convectivos, linha de instabilidade, movimento vertical ascendente, atuaram em meses isolados, ocasionando chuvas moderadas e irregulares, a qual totalizou 466,7 mm. O poder evaporativo igualou-se aos índices pluviiais. Praticamente evapotranspirou em volta quatro vezes mais que precipitou. Não se registrou excedente hídrico, e as deficiências hídricas superaram o valor de 1488 mm/ano.

Tabela 12. Elementos do balanço hídrico do ano 2015 em fase do El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,9	4,2	148,3	4,2	144,1	0,0
Fevereiro	26,7	106,3	133,3	106,3	27,0	0,0
Março	26,4	2,7	140,2	2,7	137,5	0,0
Abril	26,1	55,7	126,7	55,7	71,0	0,0
Maio	25,5	112,8	118,4	112,8	5,6	0,0
Junho	24,4	36,7	97,8	36,7	61,1	0,0
Julho	23,9	38,0	93,6	38,0	55,6	0,0
Agosto	24,4	13,1	100,7	13,1	87,6	0,0
Setembro	25,6	7,5	118,0	7,5	110,5	0,0
Outubro	26,7	3,8	144,5	3,8	140,7	0,0
Novembro	27,6	6,9	159,2	6,9	152,3	0,0
Dezembro	27,9	79,0	174,1	79,0	95,1	0,0
Média/Total	26,0	466,7	1554,8	466,7	1088,1	0,0

Fonte: O Autor.

O ano 2016, classificado como seco (Tabela 13), totalizando 221,8 mm e suas oscilações mensais fluindo de 0,3 mm (novembro) a 66,2 mm (abril), as flutuações pluviiais abaixo da média foram ocasionadas pela má distribuição, irregularidades, baixa cobertura de nuvens, alta insolação, seguido das não contribuições dos sistemas locais e regionais.

Tabela 13. Elementos do balanço hídrico do ano 2016 em fase do El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	27,7	55,0	164,2	55,0	109,2	0,0
Fevereiro	27,3	31,2	143,6	31,2	112,4	0,0
Março	27,0	2,1	151,6	2,1	149,5	0,0
Abril	26,4	66,2	131,9	66,2	65,7	0,0
Maio	25,4	9,6	117,3	9,6	107,7	0,0
Junho	24,3	16,4	95,9	16,4	79,5	0,0
Julho	23,6	7,2	88,9	7,2	81,7	0,0
Agosto	24,0	8,2	95,2	8,2	87,0	0,0
Setembro	25,1	7,5	109,9	7,5	102,4	0,0
Outubro	26,1	3,1	133,7	3,1	130,6	0,0
Novembro	26,8	0,3	143,8	0,3	143,5	0,0
Dezembro	27,1	15,0	156,6	15,0	141,6	0,0
Média/Total	25,9	221,8	1532,6	221,8	1310,8	0,0

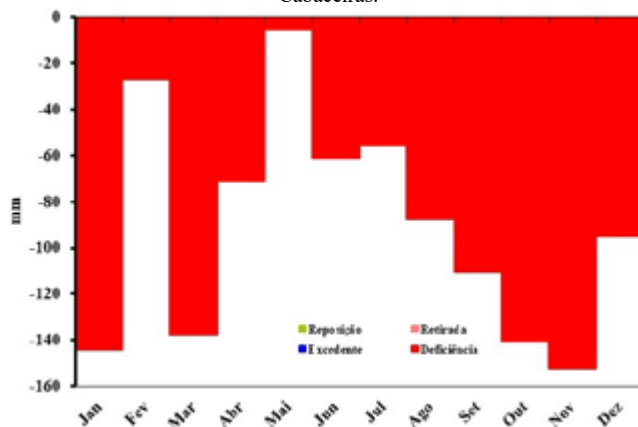
Fonte: O Autor.

O poder evaporativo igualou-se aos valores pluviiais, ou seja, choveu e evapora tudo em seguida. Evapotranspirou 590,98% acima do valor pluviométrico anual. Não

ocorreu excedente hídrico, as deficiências hídricas totalizaram 1310,8 mm e suas oscilações mensais fluíram de 65,7 mm (abril) a 149,5 mm (março). As flutuações térmicas oscilaram de 23,6°C (julho) a 27,7°C (janeiro). Segundo o IPCC (2022), Marengo et al. (2023), as discussões corroboram com os resultados.

O ano de 2015 (Figura 10), registrou deficiências hídricas fraca em fevereiro e maio, onde os índices pluviométricos foram mais ativos, nos demais meses do ano ocorreram deficiências hídricas forte, visto que a CAD de 100 mm não foi suficiente para preencher as necessidades do solo forte, ocasionada pela cobertura de nebulosidade reduzidos, insolação acentuada e altíssima intensidades na evapotranspiração. Os resultados de Marengo et al. (2021) corroboram com as discussões.

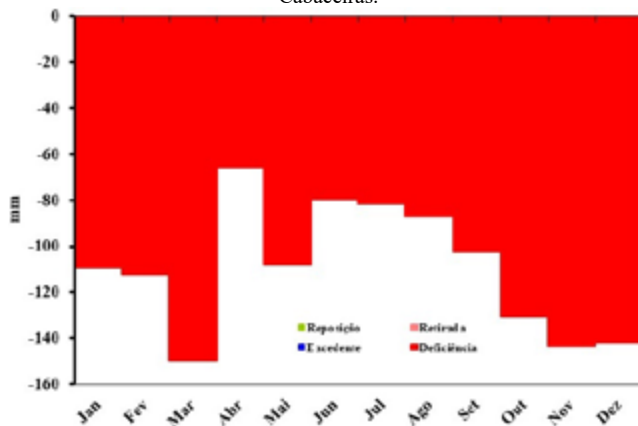
Figura 10. Extrato do balanço hídrico para o ano de 2015 em Fase El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

As altas intensidades da insolação a superfície, baixa cobertura de nuvens, movimentos verticais descendentes e céu aberto, ocasionaram deficiências hídricas forte em todos os meses do ano de 2016 (Figura 11).

Figura 11. Extrato do balanço hídrico para o ano de 2016 em Fase El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

As variabilidades dos elementos do balanço hídrico do ano de 2018, está representado na tabela 14, em fase ao fenômeno de larga escala El Niño, registraram índices pluviais má distribuídos e irregulares, abaixo da climatologia, onde os sistemas de bloqueios atmosféricos em atuação reduziu a cobertura de nuvem, registrou acréscimo na insolação, aumentando os poderes evapotranspirativos e térmicos, ocasionado deficiências elevadas e não registrando excedentes hídricos, visto que o valor da CAD, não foi necessário para suprir as deficiências do solo, tais variabilidade vem a corroborar com os resultados dos estudos do IPCC (2023); Marengo et al. (2021); Lima et al., (2024).

Tabela 14. Elementos do balanço hídrico do ano 2018 em fase do El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,6	19,4	142,5	19,4	123,1	0,0
Fevereiro	26,4	7,8	127,7	7,8	119,9	0,0
Março	26,1	92,5	135,4	92,5	42,9	0,0
Abril	25,7	75,0	121,3	75,0	46,3	0,0
Maiο	24,9	12,4	110,4	12,4	98,0	0,0
Junho	23,9	7,6	92,1	7,6	84,5	0,0
Julho	23,4	2,1	88,3	2,1	86,2	0,0
Agosto	23,9	0,3	95,3	0,3	95,0	0,0
Setembro	25,1	0,0	110,9	0,0	110,9	0,0
Outubro	26,3	0,0	136,8	0,0	136,8	0,0
Novembro	27,1	13,0	149,0	13,0	136,0	0,0
Dezembro	27,3	4,6	161,1	4,6	156,5	0,0
Média/Total	25,5	234,7	1471,0	234,7	1236,3	0,0

Fonte: O Autor.

O ano de 2019, com atuação do fenômeno de larga escala El Niño Moderado, ocasionou temperatura média anual elevada de 25,3°C. Índice pluviail e evaporativos anuais de 309,0 mm, evapotranspirou abaixo dos valores pluviais, altas incidências das deficiências hídricas e sem registro de excedentes hídricos. Resultados similar foram detectados no estudo de França et al. (2020).

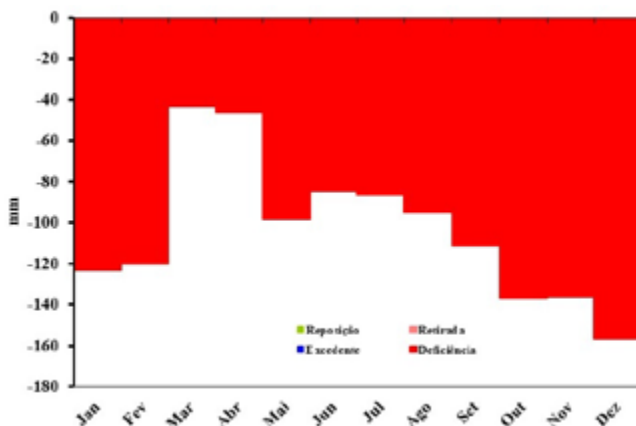
Tabela 15. Elementos do balanço hídrico do ano 2019 em fase do El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)*	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,3	22,5	26,3*	22,5	114,5	0,0
Fevereiro	26,1	15,0	26,1*	15,0	108,6	0,0
Março	25,9	50,6	25,9*	50,6	81,4	0,0
Abril	25,4	84,2	25,4*	84,2	33,7	0,0
Maio	24,7	16,6	24,7*	16,6	91,7	0,0
Junho	23,7	19,4	23,7*	19,4	71,4	0,0
Julho	23,2	61,2	23,2*	61,2	25,2	0,0
Agosto	23,7	35,4	23,7*	35,4	59,1	0,0
Setembro	24,9	3,3	24,9*	3,3	105,7	0,0
Outubro	26,1	0,4	26,1*	0,4	133,2	0,0
Novembro	26,7	0,3	26,7*	0,3	142,3	0,0
Dezembro	27,0	0,1	27,0*	0,1	154,6	0,0
Média/Total	25,3	309,0	303,7	309,0	1121,6	0,0

Fonte: O Autor.

Com registro de deficiências hídricas de janeiro a dezembro, destaca-se os meses de março a abril com fraca oscilação; os meses de maio a setembro moderada intensidade, outubro a fevereiro forte intensidade da deficiência hídrica. O ano 2018 (Figura 12), foi classificado como ano normal, onde a CAD de 100 mm não foi suficiente para o reabastecimento do solo, devido as atuações dos bloqueios atmosféricos nos sistemas de meso e microescala.

Figura 12. Extrato do balanço hídrico para o ano de 2018 em Fase El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

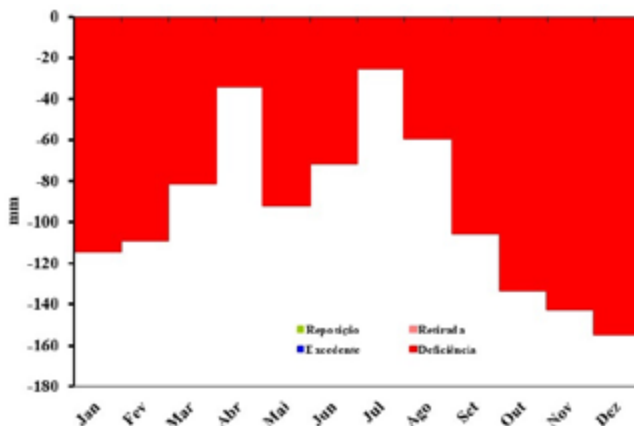


Fonte: O Autor.

O ano 2019 em Fase do fenômeno El Niño de intensidade moderada, e as chuvas ocorridas foram classificadas como muito chuvoso, registra deficiência hídrica forte a

fraca conforme descrita (Figura 13). Os meses abril, junho e agosto fraca, março e setembro moderada e janeiro, fevereiro, outubro a dezembro forte.

Figura 13. Extrato do balanço hídrico para o ano de 2019 em Fase El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

O ano de 2021, foi classificado como ano chuvoso, seguidamente de má distribuição irregular e de magnitude e intensidade variada, (Tabela 16), os valores da evaporação iguala-se aos pluviais. Não se registrou excedente hídrico, as deficiências hídricas elevadas devido as oscilações dos índices pluviais que não superaram a CAD. A Evapotranspiração supera os índices pluviais em 4,5 vezes. Os valores térmicos elevados auxiliaram as flutuações dos poderes evaporativos. O IPCC (2022); Marengo et al. (2019) e Medeiros 2022, corroboram com as discussões.

Tabela 16. Elementos do balanço hídrico do ano 2021 em fase do El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	27,0	34,6	148,8	34,6	114,2	0,0
Fevereiro	26,7	24,4	133,9	24,4	109,5	0,0
Março	26,5	60,2	141,2	60,2	81,0	0,0
Abril	26,0	55,3	126,1	55,3	70,8	0,0
Maio	25,1	61,0	113,8	61,0	52,8	0,0
Junho	24,0	44,4	93,9	44,4	49,5	0,0
Julho	23,3	39,1	87,7	39,1	48,6	0,0
Agosto	23,7	18,4	93,2	18,4	74,8	0,0
Setembro	24,8	3,1	106,5	3,1	103,4	0,0
Outubro	25,8	0,1	128,7	0,1	128,6	0,0
Novembro	26,5	0,2	138,0	0,2	137,8	0,0
Dezembro	26,6	30,2	147,4	30,2	117,2	0,0
Média/Total	25,5	371,0	1459,2	371,0	1088,2	0,0

Fonte: O Autor.

Os índices pluviiais do ano de 2023, foram mais distribuídos e totalizaram 434,4 mm, classifco como ano muito chuvoso, de maio a julho ocorreram as maiores taxas pluviiais e os meses de agosto a novembro as menores taxas ocorridas. A evaporação foi igual aos índices pluviiais, a evapotranspiração superou todos os valores pluviiais bem acima das suas distribuições. Sem ocorrências de excedentes hídricos e deficiências hídricas elevadas em todos meses exceto maio e junho.

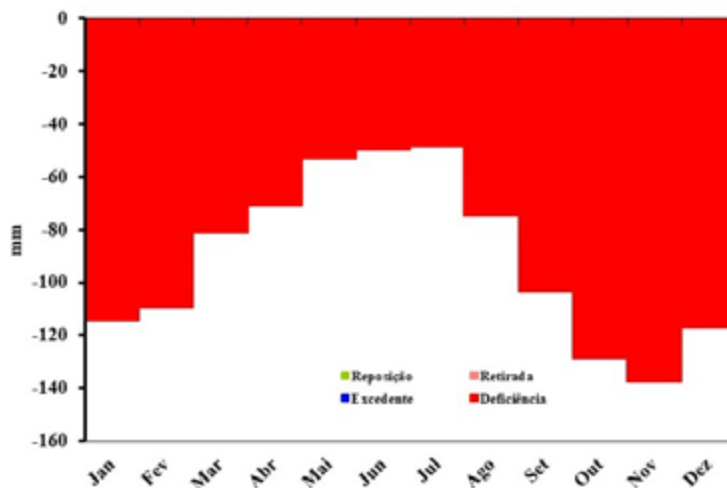
Tabela 17. Elementos do balanço hídrico do ano 2023 em fase do El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,6	24,0	142,6	24,0	118,6	0,0
Fevereiro	26,5	22,1	129,2	22,1	107,1	0,0
Março	26,2	79,7	136,1	79,7	56,4	0,0
Abril	25,8	50,1	122,5	50,1	72,4	0,0
Maio	24,9	95,3	110,9	95,3	15,6	0,0
Junho	23,9	85,7	91,9	85,7	6,2	0,0
Julho	23,3	23,8	87,3	23,8	63,5	0,0
Agosto	23,8	7,0	95,2	7,0	88,2	0,0
Setembro	25,0	9,0	110,0	9,0	101,0	0,0
Outubro	26,1	7,8	133,5	7,8	125,7	0,0
Novembro	26,8	6,9	144,3	6,9	137,4	0,0
Dezembro	27,0	23,0	155,3	23,0	132,3	0,0
Média/Total	25,5	434,4	1458,9	434,4	1024,5	0,0

Fonte: O Autor.

Com chuva entre a normalidade nos anos 2021 e 2022 (Figuras 14 e 15), e sem ocorrência de excedentes hídricos, reposição e retirada de água, ocasionada pela baixa umidade do solo, onde a CAD não teve condições necessárias e suficientes para suprir as necessidades hídricas, o que acarretou em deficiências hídricas elevadas.

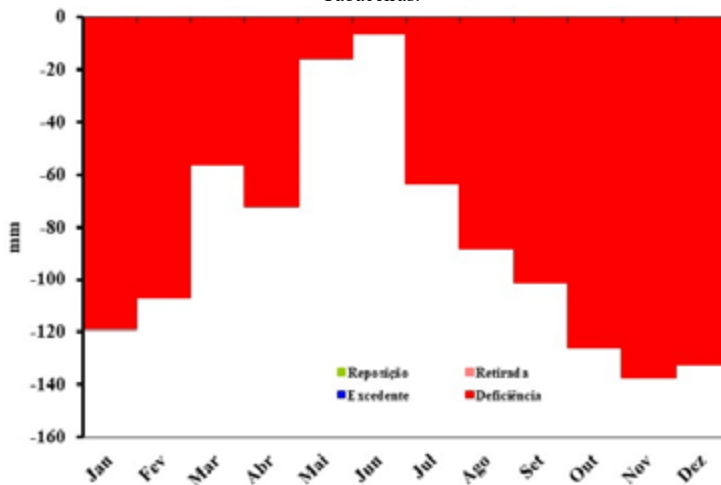
Figura 14. Extrato do balanço hídrico para o ano de 2021 em Fase El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

O déficit hídrico registrado na região do semiárido brasileiro segundo descrito por Marengo et al. (2011) é visivelmente observado nos resultados de diversos estudo e neste.

Figura 15. Extrato do balanço hídrico para o ano de 2022 em Fase El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Os elementos do balanço hídrico médio em fase do El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras, estão representados na Tabela 18. Não foram registrados excedentes hídricos visto que a CAD de 100 mm foi insuficiente para tal ato. As deficiências hídricas totalizam 1121,9 mm com menor índice no mês de maio e maior índice em novembro. Tudo que choveu, foi evaporado logo em seguida o término pluvial. Evapotranspirou 316,2% acima do valor pluvial total. A temperatura média anual foi de 25,6°C.

Estas oscilações estão em concordância com os estudos de Marengo et al. (2023) e IPCC (2014, 2021).

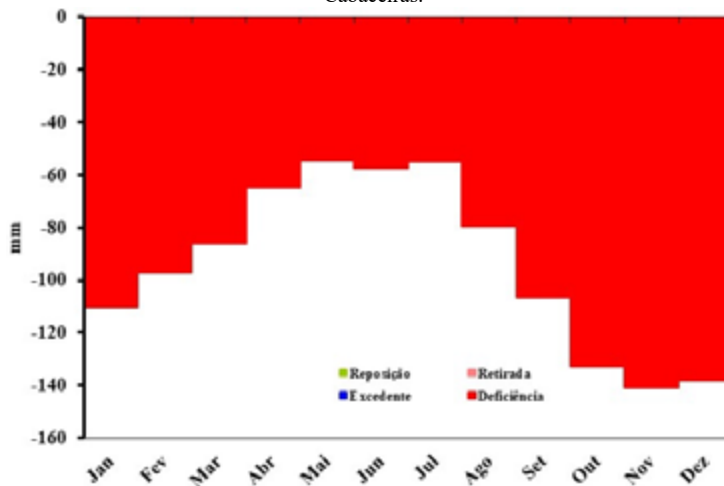
Tabela 18. Elementos do balanço hídrico médio em fase do El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,8	35,7	145,9	35,7	110,2	0,0
Fevereiro	26,6	34,1	131,1	34,1	97,0	0,0
Março	26,3	52,2	138,5	52,2	86,3	0,0
Abril	25,8	59,2	123,8	59,2	64,7	0,0
Maio	25,0	58,1	112,5	58,1	54,4	0,0
Junho	24,0	35,9	93,2	35,9	57,3	0,0
Julho	23,4	33,4	88,3	33,4	54,9	0,0
Agosto	23,9	16,2	95,5	16,2	79,3	0,0
Setembro	25,1	4,1	110,5	4,1	106,4	0,0
Outubro	26,2	2,1	134,6	2,1	132,6	0,0
Novembro	26,9	4,8	145,5	4,8	140,7	0,0
Dezembro	27,1	19,1	157,3	19,1	138,2	0,0
Média/Total	25,6	354,9	1476,8	354,9	1121,9	0,0

Fonte: O Autor.

A Figura 16 representa o extrato do balanço hídrico médio em Fase ao El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras. A capacidade de campo (CAD 100 mm), não foi suficiente para gerar excedente hídrico e reposição de água no solo, gerando somente deficiências hídricas forte a moderada em todos os meses.

Figura 16. Extrato do balanço hídrico para o ano de 2023 em Fase ao El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Na Tabela 19, observam-se as oscilações dos índices: umidade, aridez e hídrico na fase do evento El Niño em Povoado Ribeira de Cabaceiras.

As variações observadas nos índices de aridez estão diretamente relacionadas ao padrão de uso e ocupação do solo, sendo agravadas por fatores abióticos, como a exploração intensiva de áreas agrícolas e o desmatamento da vegetação nativa da caatinga.

A análise do índice de aridez mostra que a classificação de uma área como vulnerável à desertificação nem sempre coincide com a presença efetiva de degradação. Assim, regiões com valores mais baixos de aridez podem não apresentar degradação visível, enquanto áreas com índices elevados, mas não reconhecidas oficialmente como vulneráveis, podem já ter atingido um estágio crítico de degradação, enquadrando-se como desertificadas. Essas discrepâncias resultam, em grande parte, do manejo inadequado do solo e dos recursos ambientais.

O El Niño registra variações inter anos significativas nos três índices conforme demonstrados, abaixo. Tais variabilidades vem a corroborar com as afirmações do IPCC (2007, 2014) e Marengo et al. (2011).

Tabela 19. Representação dos índices: umidade, aridez e hídrico na fase de El Niño no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Anos	Índice umidade	Índice Aridez	Índice hídrico
2012	59,22	0,59	-0,36
2013	85,78	0,86	-0,51
2015	69,98	0,70	-0,42
2016	85,53	0,86	-0,51
2018	84,05	0,84	-0,50
2019	78,40	0,78	-0,47
2021	74,58	0,75	-0,45
2023	70,22	0,70	-0,42
Média	75,97	0,76	-0,46

Fonte: O Autor.

CONCLUSÃO

As variações climáticas observadas no município estão fortemente relacionadas à interferência antrópica, que tem se mostrado um fator fundamental na intensificação dessas mudanças. Dentre os possíveis impactos humanos, destaca-se a redução da vegetação nativa causada pelo desmatamento, o que compromete a regulação natural do microclima regional.

Torna-se necessário aprofundar os estudos para identificar com maior precisão os fatores antrópicos responsáveis por tais alterações, a fim de embasar propostas eficazes de mitigação e adaptação às mudanças climáticas locais.

A análise dos dados revelou que a associação entre os fenômenos El Niño e La Niña e os eventos extremos de seca ou chuva apresenta concordância apenas parcial, especialmente no que se refere às chuvas intensas. Isso indica que outros fatores, além dos fenômenos de escala global, influenciam a variabilidade climática na região, evidenciando a complexidade do sistema climático local.

Os resultados também demonstram que El Niño e La Niña alteram significativamente o regime de chuvas, promovendo aumentos e reduções no volume pluvial. No entanto, essas oscilações não resultaram em impactos críticos durante o período analisado, o que sugere certa resiliência climática da área de estudo frente a esses eventos.

O balanço hídrico evidenciou elevadas variações térmicas, as quais favoreceram o aumento das taxas de evapotranspiração, afetando a disponibilidade hídrica. Observou-se ainda que, durante os anos de La Niña, a distribuição das chuvas foi irregular, não havendo influência direta nos índices totais de precipitação. Essa irregularidade contribuiu para deficiências no armazenamento de água e para o agravamento de situações de escassez hídrica.

Em episódios de La Niña de maior intensidade, verificou-se uma tendência de precipitações abaixo da média histórica, ainda que os desvios em alguns casos fossem inferiores ao desvio-padrão. Tais resultados reforçam a importância de estratégias de gestão de recursos hídricos adaptadas à variabilidade climática local.

REFERÊNCIAS

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2023.
- CAMPOS, J. N. B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 28, n. 82, p. 65-88, 2014.
- 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**, 10. p.140-147. 2006.
- COSTA, L. R. F.; DANTAS, S. P. CLIMA E A PROBLEMÁTICA DAS SECAS NO CEARÁ: UM NOVO OLHAR SOBRE OS GRANDES RESERVATÓRIOS E O AVANÇO DA DESERTIFICAÇÃO. **Revista Geonorte**, v. 1, p. 1034-1042, 2012.
- COSTA, L. R. F.; DE OLIVEIRA SANTOS, J.; DE OLIVEIRA, V. P. V.. ABORDAGEM GEOAMBIENTAL NA ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BANABUIÚ-CE/GEOENVIRONMENTAL APPROACH IN AMBIENTAL DEGRADATION ANALYSIS THE BASIN OF THE BANABUIÚ RIVER-CE. **Revista GeoAmazônia**, v. 4, n. 08, p. 27-45, 2017.
- EMILIANO, V. M.; SANCHES, F.; FERREIRA, R. V. Ensaio utilizando as técnicas do IAC e dos “anos padrão” para classificação dos totais pluviométricos anuais em Uberaba (MG). In: **XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**, Anais..., Juiz de Fora (MG), 2018.
- FRANÇA, M. V.; FERRAZ, J. X. V.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; ROLIM NETO, F. C. El Niño e La Niña e suas contribuições na disponibilidade hídrica dos municípios de São Bento do Una e Serra Talhada – PE, Brasil. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, 8(1), 15 – 21. 2018.
- FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática do sorgo como suporte alimentar a avicultura de São Bento Una-Pernambuco, Brasil. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 4, p. 275-283, 2022.
- FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; ARAÚJO, W. R.; HOLANDA, R. M. Balanço hídrico e suas variabilidades em período de El Niño e La Niña visando às oscilações erosivas em Amparo de São Francisco - Sergipe - Brasil. **Research, Society and Development**. 9, e443996995. 2020.
- GROSS, J. A.; CASSOL, R. Rainfall anomaly index in the State of Rio Grande do Sul. **Ambiência**, 11(3), 529- 543. 2015.
- HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; SILVA, V. P. R. Recife-PE, Brasil e suas flutuabilidades da precipitação decadal. In: **NATUREZA, SOCIOBIODIVERSIDADE E SUSTENTABILIDADE**, 2016, Nicoya, Costa Rica. *Anais...* Nicoya: Universidad Nacional, Sede Chorotega, p. 230–245. 2019.
- IPCC - International Panel on Climate Change. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L.
- HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)). Cambridge University Press. In Press. 2021.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Summary for policymakers In: Climate Change 2014: **Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA) ed C B Field et al. (Cambridge University Press) pp 1–32. 2014.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers, in **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. edited by M. 2007.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, H. O. PÖRTNER, D. C.; ROBERTS, E. S.; POLOCZANSKA, K.; MINTENBECK, M.; TIGNOR, A.; ALEGRÍA, M.; CRAIG, S.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, V.; MÖLLER, A. OKEM (eds.). Cambridge University Press. 2022.

LEPSCH, I.F. 19 Lições de Pedologia. **São Paulo: Oficina de Textos**, 456 p. 2011.

LIMA, M. G. M.; MEDEIROS, R. M.; SABOYA, L. M.F. Oscilações quinquenal do balanço hídrico no povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**. 2024.

MARCUZZO, F. F. N.; ROMERO, V.; A influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, p. 429-440, 2013.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, 27, 149-175. 2008.

MARENGO, J. A., ALVES, L. M., BESERRA, E. A., LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, 1, 385-422. 2011.

MARENGO, J. A.; ALCANTARA, E.; CUNHA, A. P.; SELUCHI, M.; NOBRE, C. A.; DOLIF, G.; GONCALVES, D.; ASSIS DIAS, M.; CUARTAS, L. A.; BENDER, F.; RAMOS, A. M.; MANTOVANI, J. R.; ALVALÁ, R. C.; MORAES, O. L. Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25-28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. **Weather and Climate Extremes**, v. 39, p. 100545, 2023.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C.C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960 - 2002. **International Journal of Climatology**. v.28, p.893-904. 2008.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; CUARTAS, L. A.; DEUSDARÁ LEAL, K. R.; BROEDEL, E.; SELUCHI, M. E.; MICHELIN, C. M.; DE PRAGA BAIÃO, C. F.; CHUCHÓN ÂNGULO, E.; ALMEIDA, E. K.; KAZMIERCZAK, M. L.; MATEUS, N. P. A.; SILVA, R. C.; BENDER, F. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: Characterization, Causes, and Impacts. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 1-20, 2021.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; SOARES, W. R.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M.; de BARROS BRITO, S. S.; CUARTAS, L. A.; LEAL, K.; RIBEIRO NETO, G.; ALVALÁ, R. C. S.; MAGALHAES, A. R. Increase Risk of Drought in the Semi-arid Lands of Northeast Brazil Due to Regional Warming above 4 °C. **Climate Change Risks in Brazil**. 1ed.: **Springer International Publishing**, v. , p. 181-200. 2019.

MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; BORGES, V. E.; SOBRINHO, T. G.; DANTAS NETO, J.; SABOYA, L. M. F. Potencial agroclimático para a cultura da mangueira no município de Barbalha - CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. 2018.

MEDEIROS, R. M. **Estudo agrometeorológico para o Estado da Paraíba**. Distribuição avulsa, p.165.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

2018.

MEDEIROS, R. M. Milho e sorgo e suas potencialidades nas aptidões climáticas para o Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Mirante**, Anápolis (GO), v. 13, n. 2, ISSN 1981-4089. dez. 2020.

MEDEIROS, R. M. Regime pluvial máximo provável para São Bento do Una – Pernambuco, Brasil. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 14, p. 213–225, 2022.

MEDEIROS, R. M.; BORGES, C. K.; VIEIRA, L. J. S. Análise climatológica da precipitação no município de bananeiras - PB no período de 1930-2011 como contribuição a agroindústria. **Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 2, 10. 2012.

MEDEIROS, R. M.; BRITO, J. I. B.; ALCÂNTARA SILVA, V. M.; SILVA MELO, V.; COSTA NETO, F. D. A. El Niño/La Niña e sua influência no número de dias com chuva em Bom Jesus, Piauí, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 11(2), 16-23, 2016.

MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M. Balanço hídrico sequencial para Lagoa Seca – Paraíba – Brasil. **Research, Society and Development**, 9,1 – 26. 2020.

MIDDLETON, N.; THOMAS, D. Desertification: Exploding the Myth. **Chichester: John Wiley & Sons**, 1997.

OLIVEIRA, L. R.; SOUZA, W. M.; OLIVEIRA COSTA, V. S.; PEREIRA, M. L. T. Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco - Influence of El Niño and La Niña events on rainfall of Agreste Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 10(6), 1995-2009, 2017.

OLIVEIRA, N. L.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, R. G. Influência do El Niño e La Niña no número de dias de precipitação pluviométrica no Estado do Mato Grosso. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37 n. 4, p. 284-297, 2015.

OLIVEIRA, T. A.; TAVARES, C. M. G.; SANCHES, F.; FERREIRA, C. C. M. Variabilidade pluviométrica no município de Juiz de Fora - MG no período de 1910-2018: investigação a partir da técnica do box plot. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.26, p. 102-126, 2020.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA PARA O MUNICÍPIO DE BALSAS-MA. **Revista Scientia Agraria**, v.18, n.1, p.83-89, 2017.

ROMERO, V. Influência do El Niño e La Niña no número de dias de precipitação pluviométrica do Estado de Goiás. **ACTA Geográfica**, 7(14). 2013.

SANTOS, D. R. **Desastres Naturais Associados ao Clima na Sub-bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú /CE**. 61 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Instituto Federal do Ceará, Campus Quixadá, 2021.

SANTOS, E. P.; FILHO, I. M. C.; BRITO, J. I. B. Influência do Índice de Oscilação Sul (IOS) e Anomalia do Niños sobre as chuvas no Nordeste Brasileiro. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 16, 2010, Belém-PA. ANAIS... Belém: SBMET, 2010.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review** 38, 55-94. 10.2307/210739. 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publication in Climatology**, n.8, Laboratory of Climatology, Centerton, N. J. 1955.

TSAKIRIS, G.; LOUKAS, A.; PANGALOU, D.; VANGELIS, H.; TIGKAS, D.; ROSSI, G.; CANCELLIERE, A. **Drought characterization**. In A. Iglesias, M. Moneo & A. López-Francos (Orgs.), Drought management guidelines technical annex. Zaragoza: CIHEAM/EC MEDA Water. 2007.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, volume especial, p. 126-142, 2014.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

Capítulo 13 - APLICABILIDADE DO BALANÇO HÍDRICO NO ALGODÃO ATUAL E FUTURA NO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRASIL

Romildo Morant de Holanda
Kyriale Vasconcelos Morant Cavalcanti
Salatiel Ewen Braga
Raimundo Mainar de Medeiros
Vinícius Dantas de Araújo

RESUMO

O cômputo do Balanço Hídrico é uma ferramenta fundamental de apoio ao planejamento agropecuário, pois permite caracterizar o regime climático de uma determinada região. Este estudo aplicou a metodologia de Thornthwaite para calcular o balanço hídrico atual e futuro no Povoado Ribeira de Cabaceiras – PB, considerando os cenários climáticos B₁ e B₂ propostos pelo IPCC. Foram utilizados dados pluviométricos mensais e anuais, interpolados pelo método do quadrado da distância com base em informações dos municípios vizinhos (São João do Cariri, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel, Boqueirão e Boa Vista), fornecidos pela AESA para o período de 2010 a 2023. As temperaturas médias mensais foram estimadas com o programa Estima-T para o mesmo intervalo. As projeções futuras (2070 a 2099) consideraram os cenários A₂ e B₂ do modelo de circulação global do IPCC. A Capacidade de Água Disponível (CAD) de 43,2 mm para a cultura do algodoeiro revelou-se insuficiente para seu pleno desenvolvimento vegetativo. Os cenários futuros indicam baixos índices pluviométricos, altos níveis de evapotranspiração, severas deficiências hídricas e ausência de excedentes hídricos. Diante desse panorama, torna-se imprescindível o desenvolvimento de sistemas de armazenamento de água visando à segurança hídrica para uso humano e animal na região.

Palavras-chave: Deficiência hídrica, Cenários climáticos, Algodoeiro, Planejamento agroclimático, Armazenamento hídrico.

APPLICABILITY OF CURRENT AND FUTURE WATER BALANCE FOR COTTON IN THE VILLAGE OF RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRAZIL **ABSTRACT**

The computation of the Water Balance is a fundamental tool for supporting agricultural and livestock planning, as it enables the characterization of a region's climatic regime. This study applied the Thornthwaite methodology to calculate the current and future water balance in the village of Ribeira de Cabaceiras – PB, considering the B₁ and B₂ climate scenarios proposed by the IPCC. Monthly and annual rainfall data were interpolated using the Inverse Distance Squared Weighting (IDW) method, based on information from neighboring municipalities (São João do Cariri, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel, Boqueirão, and Boa Vista), provided by AESA for the period from 2010 to 2023. Monthly average temperatures were estimated using the Estima-T software for the same period. Future projections (2070 to 2099) considered the A₂ and B₂ scenarios of the IPCC's global circulation model. The Available Water Capacity (AWC) of 43.2 mm for cotton crops proved insufficient for their full vegetative development. Future scenarios indicate low rainfall indexes, high evapotranspiration levels, severe water deficits, and absence of water surplus. In light of this outlook, it becomes essential

to develop water storage systems to ensure water security for both human and animal use in the region.

Keywords: Water déficit, Climate scenarios, Cotton crop, Agroclimatic planning, Water storage.

INTRODUÇÃO

O balanço hídrico climatológico (BHC) é uma ferramenta fundamental para o sucesso no cultivo agrícola, permitindo decisões estratégicas quanto à prática de irrigação para suprir déficits hídricos no solo (Passos et al., 2017). Trata-se de um dos métodos mais utilizados para estimar excedentes e deficiências hídricas, além da retirada, reposição e armazenamento de água no solo (Carvalho et al., 2011; Duarte et al., 2020). Esses estudos reforçam os resultados discutidos neste trabalho.

Segundo Amorim Neto (1989), um dos mais relevantes documentos obtidos para determinada região é a quantificação de seu balanço hídrico, pois permite identificar condições de excedente ou deficiência de água. Este é considerado o método mais eficaz para estimar o potencial hídrico de uma região, ao considerar variáveis climáticas como precipitação e evapotranspiração.

De acordo com a EMBRAPA (2003), a cultura do algodoeiro não requer volumes elevados de água ao longo de seu ciclo. O plantio ocorre, predominantemente, entre novembro e maio na região Nordeste do Brasil. A avaliação de riscos climáticos para o cultivo do algodoeiro herbáceo nessa região aumenta consideravelmente quando o aumento da temperatura se associa à redução dos índices pluviométricos. Quanto maior a anomalia negativa da precipitação, menor será a aptidão da área para o cultivo (Silva et al., 2012). O IPCC projeta para o final do século um aumento médio de temperatura entre 1°C e 4°C no Nordeste, com reduções pluviométricas de 10% a 20%, aumento de dias secos consecutivos e ondas de calor, devido à maior frequência de veranicos, comprometendo o desenvolvimento da cultura.

Diversos fatores interferem diretamente no desenvolvimento das culturas, sendo os principais a disponibilidade hídrica e a temperatura. A variação desses elementos influencia diretamente a duração do ciclo das culturas e seus subperíodos. O conhecimento do ciclo é, portanto, essencial para o aumento da produtividade (Fenner et al., 2014). Dessa forma, torna-se necessária a elaboração de planejamentos que permitam compreender o regime hídrico local ou regional e definir estratégias agrícolas (Coutinho et al., 2015). Para Barreto et al. (2009), é crucial identificar áreas com maior potencial para a exploração agrícola eficiente.

França et al. (2020) avaliaram as condições hídricas com base na variabilidade da capacidade de campo, identificando flutuações erosivas do solo no município de Amparo de São Francisco – SE, utilizando o balanço hídrico de Thornthwaite. Os resultados indicaram elevados índices erosivos para capacidades de campo de 25 a 75 mm e índices moderados a baixos para capacidades entre 100 e 175 mm. A tendência à ocorrência de chuvas intensas e breves pode comprometer a estabilidade do solo e a prática de cultivos de sequeiro.

Medeiros (2020) computou o balanço hídrico sequencial para o município de São Bento do Una – PE, visando avaliar o papel do armazenamento de água em períodos de crise hídrica. Os impactos climáticos vêm alterando o balanço hídrico regional na última década, agravados por ações antrópicas que aceleram as mudanças climáticas locais. Isso afeta diretamente o regime pluviométrico e a disponibilidade de água no solo, destacando

a importância da captação e estocagem de água para garantir a sobrevivência humana, animal e vegetal, além do setor agropecuário, especialmente o avícola.

Segundo Caetano et al. (2019), além da análise da distribuição pluviométrica, é essencial considerar a probabilidade de eventos extremos como precipitações diárias e mensais intensas, que vêm causando impactos significativos em áreas agrícolas, pecuárias e urbanas (Saboya et al., 2022).

Araújo et al. (2021) estimaram o balanço hídrico anual de 1981 a 2019 para o município de Lagoa Seca – PB, observando flutuações pluviométricas e evapotranspirativas, bem como retiradas, reposições, deficiências e excedentes hídricos interanuais. Utilizando a metodologia de Thornthwaite, observaram que anos com evapotranspiração superior à precipitação incluíram 1983-1988, 1990-1992, 1994, 1996, 1998, 2000, 2008, 2009, 2011 e 2019. Por outro lado, anos como 1981, 1993, 1999, 2004, 2006, 2007, 2012 e 2015 apresentaram evaporação inferior à precipitação. Em todos os casos, recomendou-se o uso complementar da irrigação, mesmo em períodos chuvosos irregulares, devido à predominância do déficit hídrico.

Holanda et al. (2019) e Matos et al. (2018) reforçam que o balanço hídrico permite compreender a dinâmica da disponibilidade e demanda de água no solo, com base em índices de precipitação, evapotranspiração, armazenamento, excedentes e déficits hídricos. Esses dados são valiosos para agricultores, pesquisadores e gestores públicos.

Nas últimas décadas, os impactos climáticos tornaram-se mais evidentes em diversas regiões do planeta. Alterações nos ciclos hidrológicos têm afetado a precipitação quanto à sua quantidade, frequência e duração, além de alterar os padrões de evaporação, temperatura, escoamento e disponibilidade hídrica, em decorrência da crescente ocorrência de eventos climáticos extremos (Rápalo et al., 2021; Santos et al., 2021).

No Brasil, o crescimento econômico tem promovido forte degradação ambiental por meio de práticas como desmatamento, expansão agropecuária e urbanização desordenada. Estima-se que mais de 20% da Floresta Amazônica esteja altamente degradada, e cerca de 36% já tenha sido impactada por desmatamento ou degradação (Fearnside, 2023). A supressão da vegetação contribui para a perda da capacidade regenerativa dos ecossistemas e intensifica os efeitos das mudanças climáticas.

Na região semiárida, a variabilidade da precipitação e a irregularidade do armazenamento hídrico exigem planejamento contínuo para garantir a eficiência no uso da água (Albuquerque et al., 2018). As variações interanuais acentuadas afetam diretamente a disponibilidade de água potável, o represamento hídrico, a produção agrícola e a segurança dos sistemas produtivos agropecuários e socioeconômicos.

Diante deste contexto, o presente estudo tem por objetivo realizar o cômputo do balanço hídrico, conforme a metodologia de Thornthwaite, para o Povoado Ribeira de Cabaceiras – PB, utilizando dados atuais e projeções futuras de acordo com os cenários climáticos B₁ e B₂ propostos pelo IPCC.

METODOLOGIA

Utilizou-se uma série de dados pluviométricos mensais e anuais interpolados por meio do método da distância ao quadrado, considerando os municípios circunvizinhos a Ribeira de Cabaceiras: São João do Cariri, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel, Boqueirão e Boa Vista, todos localizados na Paraíba. Esses dados foram disponibilizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESAs, 2023), abrangendo o período de 2010 a 2023.

As temperaturas médias mensais, correspondentes ao mesmo intervalo dos dados pluviométricos, foram estimadas utilizando-se o programa computacional Estima-T. Para projeções futuras, referentes ao período de 2070 a 2099, foram considerados os cenários climáticos A₂ e B₂, baseados no modelo de circulação global proposto pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).

O cálculo do Balanço Hídrico Climatológico (BHC) foi realizado por meio de uma planilha eletrônica desenvolvida por Medeiros (2018), utilizando-se dos dados médios mensais de precipitação (mm) e temperatura (°C), com o objetivo de determinar a evapotranspiração potencial. Para esse cálculo, foi adotada uma Capacidade de Água Disponível (CAD) equivalente à Capacidade Real de Água no solo (CRA), determinada por meio de equação específica.

$$CRA = DTA \times h \times f$$

Onde:

CRA: igual à capacidade real d'água no solo;

DTA: disponibilidade total d'água, que se considerou 1,2 mm.cm⁻¹ para solos de textura média (Faria et al., 2000);

h: profundidade do volume de controle, sendo adotadas 30 cm para a cultura do algodoeiro (Keller et al., 1990);

f: fator de disponibilidade considerado 0,6 para grãos (Bernardo, 1995).

Para o cômputo dos dados de entrada necessários ao cálculo da CRA, adotou-se uma CAD de 43,2 mm, valor apropriado para a cultura do algodão em solos de textura média, compatível com as condições edafoclimáticas da região estudada.

Tabela 1. Resumo climático da aptidão da cultura Algodão Herbáceo, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Classes	Intervalos de Iv / Isv / Irs	Condições Hídricas e Térmicas
Plena (P)	$30 \leq Iv < 50$ $Isv \leq 1$ $Irs \geq 4$	Boas condições hídricas e térmicas para o desenvolvimento da cultura
Moderada (M)	$30 < Iv < 50$ $Isv > 1$ $Irs \geq 4$	Período vegetativo normal, mas com ocorrências de seca
Restrita (R)	$30 < Iv < 50$ $Isv \leq 1$ $Irs < 4$	Repouso na seca insuficiente para a maturação da fibra; Período vegetativo curto com seca; Umidade excessiva para o desenvolvimento
Inaptidão (I)	$Iv < 20$ ou $Iv > 50$ ou $(20 < Iv < 30$ e $Isv > 1)$	Ocorrência de seca durante todo o ciclo da cultura

Fonte: Adaptado de Ometto (1981).

RESULTADO E DISCUSSÃO

A evapotranspiração de cultura é fundamental para o dimensionamento adequado de projetos e o manejo da irrigação, pois indica a quantidade de água que deve ser repostada ao solo para garantir o desenvolvimento ideal das culturas (Pereira et al., 1997). Seu cálculo é geralmente obtido pelo produto entre a evapotranspiração de referência (ET_o) e o coeficiente de cultura (K_c), que varia conforme o tipo de cultivo e seu estágio fenológico.

Oliveira et al. (2017) ressaltam que, para promover maior segurança aos sistemas produtivos, incluindo agropecuária, agronegócio, agricultura irrigada e de sequeiro, gestão dos recursos hídricos e meio ambiente, especialmente nas regiões semiáridas, torna-se imprescindível uma gestão eficiente baseada em informações técnicas que auxiliem o monitoramento e as decisões, sejam governamentais ou não.

De acordo com Amorim Neto (1989), o método mais eficiente para estimar o potencial hídrico de uma região é o balanço hídrico, pois considera tanto as características físicas do solo quanto fatores relacionados à evapotranspiração e à precipitação, possibilitando conhecer os níveis de deficiência e excedente hídrico.

Com temperatura média anual de 25,6°C, variando de 23,4°C em julho a 27,0°C em dezembro, os dados do balanço hídrico de 2010 a 2023 com CAD de 43,2 mm para o povoado Ribeira de Cabaceiras (Tabela 1) revelam uma precipitação total anual de 382,6 mm, com variação mensal de 4,9 mm (setembro) a 59,7 mm (março). Essa distribuição irregular confirma os apontamentos do IPCC (2022, 2023) e de Lima et al., (2024).

Os valores de evaporação anual se igualaram aos valores de precipitação, enquanto a evapotranspiração totalizou 1473,7 mm, o que representa um excedente de 25,98% em relação à precipitação. Os índices mensais de evapotranspiração variaram de 88,6 mm (julho) a 154,9 mm (dezembro), sempre superiores à precipitação. As deficiências hídricas totalizaram 1090,8 mm, com variações mensais de 42,3 mm (junho) a 136,5 mm (novembro), sem registro de excedentes hídricos. Essas oscilações intensas, embora não usuais, são consistentes com os padrões observados na região semiárida, conforme Lima et al., (2024) e Marengo et al. (2023).

Tabela 1. Parâmetros do balanço hídrico entre 2010-2023 com a CAD de 43,2 mm para o Povoado Ribeira de cabaceiras.

Meses	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Prec/ETP (%)	Prec/EVR (%)
Janeiro	26,8	32,7	146,0	32,7	113,3	0,0	22,40	100
Fevereiro	26,6	23,2	131,4	23,2	108,2	0,0	17,62	100
Março	26,3	59,7	139,1	59,7	79,4	0,0	42,90	100
Abril	25,9	58,7	124,7	58,7	66,0	0,0	47,06	100
Mai	25,0	59,5	112,8	59,5	53,2	0,0	52,80	100
Junho	24,1	51,7	94,0	51,7	42,3	0,0	54,99	100
Julho	23,4	36,8	88,6	36,8	51,8	0,0	41,54	100
Agosto	23,9	19,3	95,2	19,3	75,9	0,0	20,25	100
Setembro	25,0	4,9	109,6	4,9	104,6	0,0	4,511	100
Outubro	26,1	8,6	133,5	8,6	124,9	0,0	6,474	100
Novembro	26,8	7,4	143,9	7,4	136,5	0,0	5,156	100
Dezembro	27,0	20,3	154,9	20,3	134,6	0,0	13,12	100
Ano	25,6	382,9	1473,7	382,9	1090,8	0,0	25,98	100

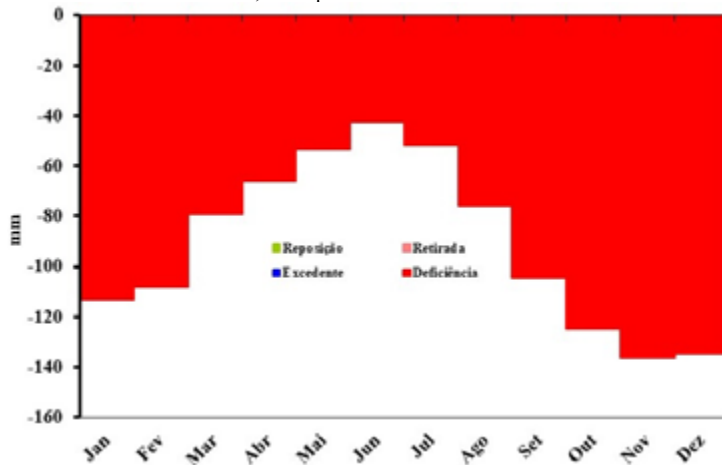
Fonte: O Autor.

A Figura 1 apresenta o extrato do balanço hídrico referente à deficiência, excedente, retirada e reposição de água entre 2010 e 2023, com CAD de 43,2 mm. Devido à irregularidade das chuvas e à escassez de água no solo, observam-se deficiências hídricas moderadas a fortes ao longo de todos os meses do período analisado.

Diversos estudos confirmam que o Balanço Hídrico Climatológico (BHC) registra deficiência hídrica quando a evapotranspiração potencial supera os índices de

precipitação, o que é característico das regiões semiáridas brasileiras (Blain, 2011; Queluz et al., 2013; Jerszurki et al., 2017).

Figura 1. Extrato do balanço referente à deficiência, excedente, retirada e reposição d'água 2010-2013, com a CAD de 43,2 mm para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.

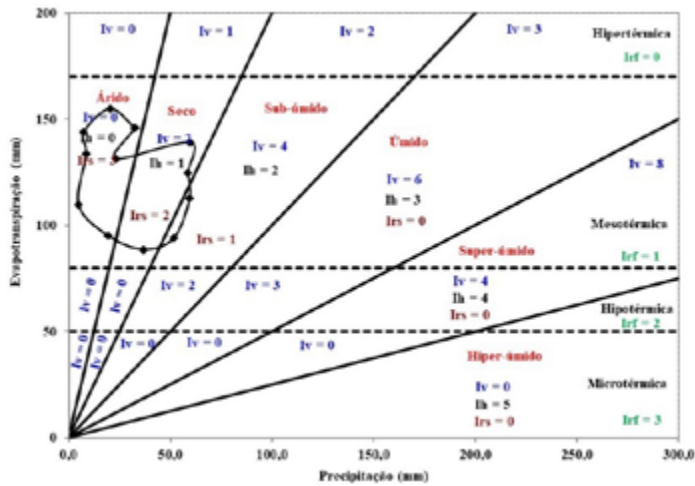


Fonte: O Autor.

A temperatura, enquanto elemento atmosférico, exerce influência direta sobre a fisiologia da flora e fauna (Oliveira, 2023). Assim, o conhecimento prévio desses dados climáticos é essencial para o planejamento ambiental e agrícola, determinando a aptidão de cultivos e cultivares para diferentes regiões (França et al., 2020). O semiárido nordestino apresenta chuvas escassas e irregulares, com secas frequentes, e eventos intensos e de curta duração, sem volumes significativos de escoamento superficial. Esse cenário é reflexo da variabilidade temporal da precipitação e dos sistemas meteorológicos atuantes em escalas global, regional e local (Medeiros, 2018).

A Figura 2 apresenta as delimitações hídricas e térmicas do evapopluviograma do povoado Ribeira de Cabaceiras. Observam-se três tipos climáticos predominantes na área: árido, seco e subúmido, com predominância dos climas árido e seco. A classificação climática é mesotérmica.

Figura 2. Distribuição das repartições hídricas e térmicas do evapopluviograma com a CAD de 43,2 mm, do Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

A Tabela 2 apresenta os resultados climáticos obtidos a partir do uso do evapopluviograma e das respectivas análises. Esses dados corroboram estudos realizados para o Nordeste brasileiro (Medeiros et al., 2013; Matos et al., 2014).

Tabela 2. Índices climáticos do Povoado Ribeira de Cabaceiras, para a CAD de 43,2 mm.

Índices Climáticos	Iv	Irs	Irf	Cv (%)	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
	18	4	1	16,3	25,6	382,9	1473,7	1090,8	0,0

Fonte: O Autor.

O monitoramento climático contribui significativamente para decisões relacionadas ao aumento da produtividade agrícola, possibilitando a classificação climática de uma região, a definição de zoneamentos agroclimáticos e a identificação dos períodos de deficiência e excedente hídrico, tanto em escala mensal quanto anual. Assim, o balanço hídrico é um instrumento estratégico na gestão dos recursos hídricos, sendo fundamental para outorgas de uso da água, previsão de vazões, abastecimento humano, recarga de aquíferos, geração de energia, estimativas de umidade do solo, e planejamento da irrigação (ANA, 2005).

A Tabela 3 evidencia as variações dos parâmetros do balanço hídrico no período de 2010 a 2023, com CAD de 43,2 mm, incremento de 1°C e redução de 10% na precipitação. Verificou-se aumento nos índices evapotranspirativos e evaporativos, os quais se igualaram ou superaram os índices pluviais. Não houve registro de excedente hídrico, e as deficiências, tanto mensais quanto anuais, apresentaram crescimento. As variações de evapotranspiração também mostraram oscilações com tendência de aumento, conforme indicado na coluna Prec/ETP.

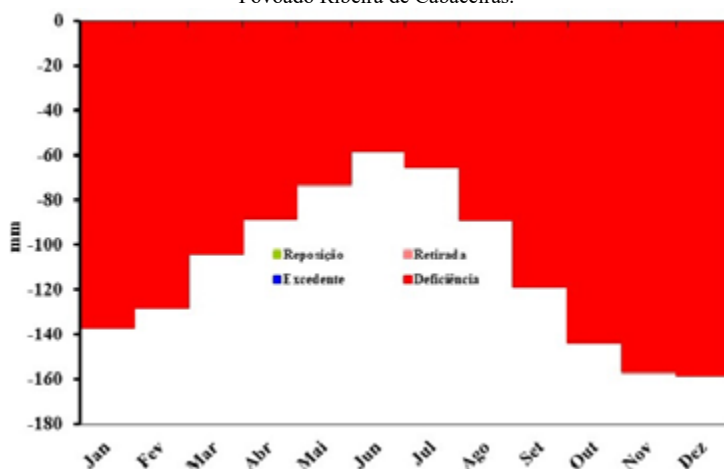
Tabela 3. Parâmetros do balanço hídrico entre 2010-2023 com a CAD de 43,2 e acréscimo de 1°C, e com redução de 10% nos índices pluviais para o Povoado Ribeira de cabaceiras.

Meses	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Prec/ETP (%)	Prec/EVR (%)
Janeiro	27,8	29,4	166,1	29,4	136,7	0,0	17,73	100
Fevereiro	27,6	20,8	149,2	20,8	128,3	0,0	13,97	100
Março	27,3	53,7	157,7	53,7	104,0	0,0	34,06	100
Abril	26,9	52,8	140,9	52,8	88,1	0,0	37,48	100
Mai	26,0	53,6	126,6	53,6	73,0	0,0	42,32	100
Junho	25,1	46,5	104,8	46,5	58,3	0,0	44,4	100
Julho	24,4	33,1	98,3	33,1	65,2	0,0	33,69	100
Agosto	24,9	17,4	106,0	17,4	88,6	0,0	16,37	100
Setembro	26,0	4,4	123,0	4,4	118,6	0,0	3,617	100
Outubro	27,1	7,8	151,1	7,8	143,3	0,0	5,149	100
Novembro	27,8	6,7	163,7	6,7	157,0	0,0	4,08	100
Dezembro	28,0	18,3	176,5	18,3	158,2	0,0	10,37	100
Ano	26,6	344,6	1663,9	344,6	1319,3	0,0	20,71	100

Fonte: O Autor.

A Figura 3 apresenta o extrato do balanço hídrico considerando as condições de aumento de 1°C e redução de 10% na precipitação. A deficiência hídrica predominou em todos os meses analisados.

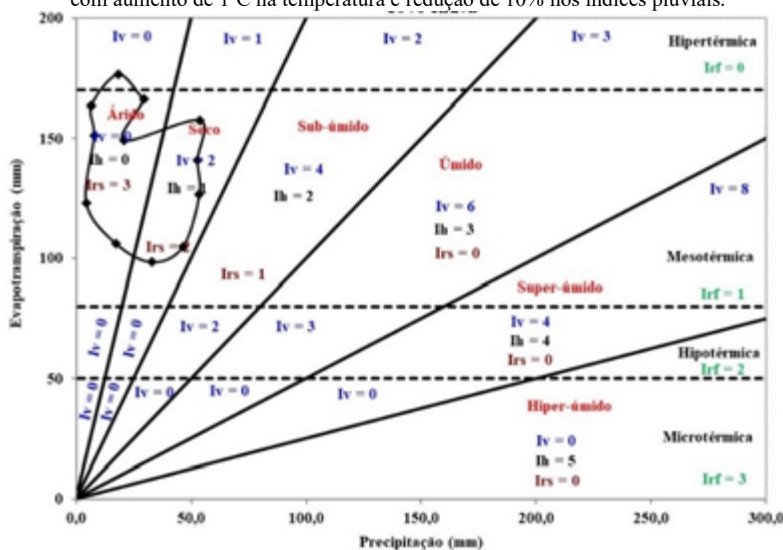
Figura 3. Extrato do balanço referente à deficiência, excedente, retirada e reposição d'água 2010-2023, com a CAD de 43,2 mm com acréscimo de 1°C, e com redução de 10% nos índices pluviais para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

A Figura 4 mostra os domínios hídricos e térmicos do evapopluiograma com o mesmo cenário (incremento de 1°C e redução de 10% na precipitação). Destacam-se dois tipos de clima: árido e seco, com clima mesotérmico.

Figura 4. Distribuição das repartições hídricas e térmicas do evapopluviograma com a CAD de 43,2 mm, com aumento de 1°C na temperatura e redução de 10% nos índices pluviiais.



Fonte: O Autor.

A Tabela 4 apresenta os resultados climáticos obtidos a partir do evapopluviograma, reforçando os dados de estudos anteriores realizados na região Nordeste (Medeiros et al., 2013; Matos et al., 2014).

Tabela 4. Índices climáticos do Povoado Ribeira de Cabaceiras, para a CAD de 43,2 mm, com acréscimo de 1°C, e com redução de 10% nos índices pluviiais.

Índices Climáticos	Iv	Irs	Irf	Cv (%)	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
	2	5	-	14,4	26,6	344,6	1663,9	1319,3	0,0

Fonte: O Autor.

A Tabela 5 demonstra aumentos em todos os índices do balanço hídrico, com destaque para os valores de evapotranspiração, tanto mensais quanto anuais. As deficiências hídricas se intensificaram, superando os valores de referência normal.

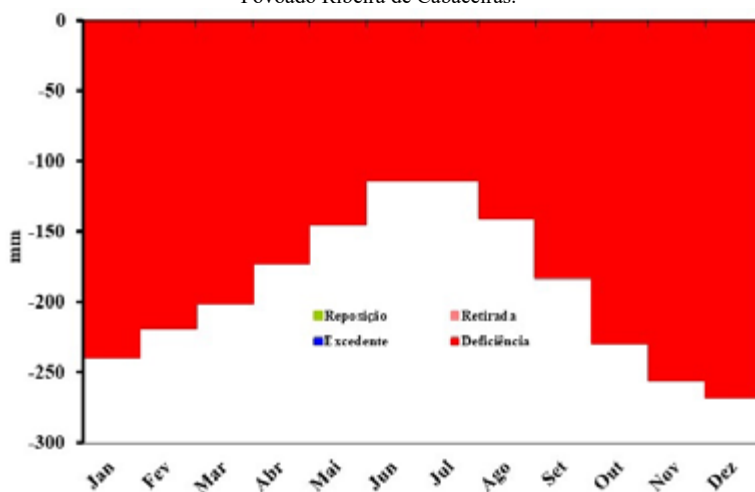
Tabela 5. Parâmetros do balanço hídrico entre 2010-2023 com a CAD de 43,2 e acréscimo de 4°C, e com redução de 20% nos índices pluviais para o Povoado Ribeira de cabaceiras.

Meses	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Prec/ETP (%)	Prec/EVR (%)
Janeiro	30,8	26,2	265,5	26,2	239,3	0,0	9,858	100
Fevereiro	30,6	18,5	237,0	18,5	218,4	0,0	7,816	100
Março	30,3	47,7	248,8	47,7	201,1	0,0	19,18	100
Abril	29,9	46,9	219,6	46,9	172,7	0,0	21,37	100
Mai	29,0	47,6	192,6	47,6	145,0	0,0	24,73	100
Junho	28,1	41,3	155,0	41,3	113,7	0,0	26,67	100
Julho	27,4	29,4	142,9	29,4	113,5	0,0	20,6	100
Agosto	27,9	15,4	156,0	15,4	140,6	0,0	9,888	100
Setembro	29,0	4,0	186,9	4,0	183,0	0,0	2,115	100
Outubro	30,1	6,9	236,7	6,9	229,8	0,0	2,921	100
Novembro	30,8	5,9	261,5	5,9	255,6	0,0	2,27	100
Dezembro	31,0	16,3	283,9	16,3	267,6	0,0	5,731	100
Ano	29,6	306,3	2586,5	306,3	2280,2	0,0	11,84	100

Fonte: O Autor.

Na Figura 5, o balanço hídrico simulado com incremento de 4°C e redução de 20% na precipitação revela predomínio de deficiências hídricas moderadas a severas durante todo o ano. Esses resultados apresentam similitudes com os achados de Marengo e Espinoza (2015) e Medeiros et al. (2015).

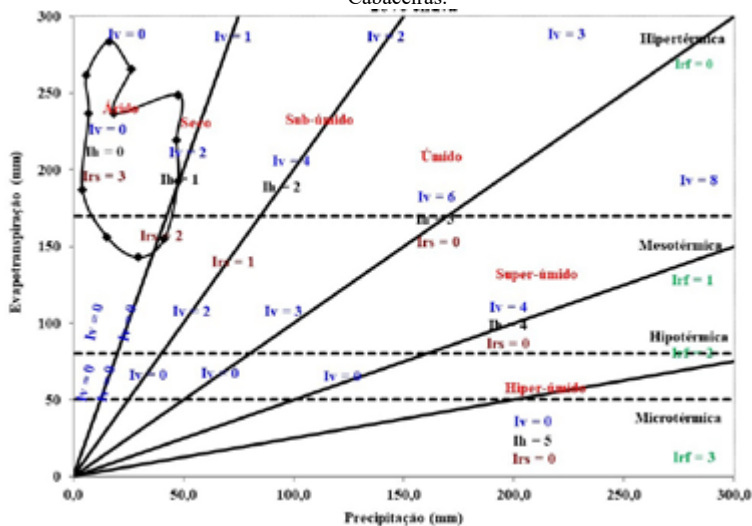
Figura 5. Extrato do balanço referente à deficiência, excedente, retirada e reposição d'água 2010-2023, com a CAD de 43,2 mm com acréscimo de 4°C, e com redução de 20% nos índices pluviais para o Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

A Figura 6 mostra os domínios hídricos e térmicos do evapopluiograma para o mesmo cenário de 4°C a mais e 20% a menos de precipitação. Observa-se predominância de 11 meses com clima árido e um mês com clima seco, caracterizando o clima da região como hiper térmico.

Figura 6. Distribuição das repartições hídricas e térmicas do evapopluviograma com a CAD de 43,2 mm, com aumento de 4°C na temperatura e redução de 20% nos índices pluviais do Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

A Tabela 6 apresenta os resultados climáticos obtidos com o uso do evapopluviograma para esse cenário futuro extremo. Os índices confirmam a tendência observada em estudos anteriores realizados para o Nordeste brasileiro (Medeiros et al., 2013; Matos et al., 2014).

Tabela 6. Índices climáticos do Povoado Ribeira de Cabaceiras, para a CAD de 43,2 mm, com acréscimo de 4°C, e com redução de 20% nos índices pluviais

Índices Climáticos	Iv	Irs	Irf	Cv (%)	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
	2	5	-	13,3	29,6	306,3	2586,5	2286,5	0,0

Fonte: O Autor.

CONCLUSÃO

A capacidade de água disponível (CAD) de 43,2 mm, adotada para a cultura do algodoeiro em solo de textura média, mostra-se insuficiente para garantir um desenvolvimento vegetativo adequado da planta.

As projeções climáticas para os cenários A2 e B2 indicam baixos índices de precipitação, elevados índices de evapotranspiração e evaporação, além de severas deficiências hídricas, sem registro de excedentes de água. Diante dessa realidade, é imprescindível a implementação de sistemas de armazenamento de água, voltados à subsistência humana e animal.

Considerando a escassez hídrica na região, o cultivo do algodoeiro torna-se tecnicamente inviável em condições de sequeiro. Caso o plantio seja realizado, deve ocorrer em pequenas áreas, preferencialmente em baixadas, com uso obrigatório de irrigação para garantir a viabilidade da produção.

REFERÊNCIAS

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2023.
- ALBUQUERQUE, F. S.; SILVA, E. F. F.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A.; SILVA, A. O. Condições hídricas e crescimento vegetal de culturas agrícolas importantes para comunidades indígenas do semiárido brasileiro. **Revista Ceres [online]**, 65. 2018.
- AMORIM NETO, M. S. A. Balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather (1955). **Comunicado Técnico Embrapa**, 1989.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Princípios de hidrologia ambiental**. Curso de Aperfeiçoamento em Gestão de Recursos Hídricos. 2005.
- ARAÚJO, W. R.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; SABOYA, L. M. F.; FRANÇA, M. V.; ROLIM NETO, F. C. Variabilidade interanual do balanço hídrico em Lagoa Seca, Paraíba – Brasil. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, 2021.
- BARRETO, P. N.; SILVA R. B. C.; SOUZA, W. S.; COSTA, G. B.; NUNES, H. G. G. C.; SOUSA, B. S. B. Análise do balanço hídrico durante eventos extremos para áreas de floresta tropical de terra firme da Amazônia Oriental. In: **XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2009**, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte. CD. 2009.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6.ed. Viçosa: UFV, 657p, 1995.
- BLAIN, G.C. Aplicação do conceito do índice padronizado de precipitação à série decenal da diferença entre precipitação pluvial e evapotranspiração potencial. **Bragantia**, v. 70, n. 1, 2011.
- CAETANO, A. L.; BARBOSA, F. S. Probabilidade de ocorrência de chuvas extremas para a região de Inconfidentes –MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, 25(1),537-548. 2019.
- CARVALHO, H. P.; DOURADO NETO, D.; TEODORO, R. E. F.; MELHO, B. Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. **Bioscience Journal**, Uberlândia,v.27,n.2,p221-229, 2011.
- COUTINHO, M. D. L.; COSTA, M. S.; SILVA, A. R.; SANTOS, T. S.; GOMES, A. C. S.; MORAIS, M. D. C., SANTOS, P. V. Balanço hídrico mensal para dois municípios do estado da Paraíba. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37 n. 4, p. 160-170. 2015.
- DUARTE, J. F. M.; MEDEIROS, R. M.; MENEZES, H. E. A. Aptidão agroclimática de culturas anuais e perenes no município de Recife-pe, brasil. **revista de ciências agro-ambientais (online)**. v. 1, p.35 - 42, 2020.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultura do Algodão Herbáceo na Agricultura Familiar**. Campina Grande, PB, 2003.
- FARIA, R. A.; SOARES, A. A.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, C. A. A. S. Demanda Suplementar para a cultura do milho no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas Grande, v. 4, n. 1, p.46-50, 2000.
- FEARNSIDE, P. M. Deforestation and degradation dynamics in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 378, p. xyz-abc, 2023.
- FENNER, W.; MOREIRA, P. S. P.; FERREIRA, F. S.; DALLACORT, R.; QUEIROZ, T. M.; BENTO, T. S. Análise do balanço hídrico mensal para regiões de transição de CerradoFloresta e Pantanal, Estado de Mato Grosso. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.3, n.1, p. 72-85, 2014.
- FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; ARAÚJO, W. R.; HOLANDA, R. M. Balanço hídrico para diferentes capacidades de campo e a variabilidade erosiva pluvial no município de Amparo de São Francisco – SE, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, 2020.
- HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M. Classificação climática pelo método de Köppen e Thornthwaite em Bom Jesus do Piauí, Brasil. **Pantaneira**, V. 16. Pag. 57 - 68, UFMS, Aquidauana-MS, 2019.
- HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. **EDUFRPE**. 2026.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2023.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, H. O. PÖRTNER, D. C.; ROBERTS, E. S.; POLOCZANSKA, K.; MINTENBECK, M.; TIGNOR, A.; ALEGRÍA, M.; CRAIG, S.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, V.; MÖLLER, A. OKEM (eds.). Cambridge University Press. 2022.

JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M.; SILVA, L. C. R. Expandindo a geografia da evapotranspiração: Um método melhorado para quantificar fluxos de água terra - ar em regiões tropicais e subtropicais. **Research, Society and Development** v. 12, n. 6, p. e0180055, 2017.

KELLER, J. BLIESNER, R. D. **Sprinkle and Trickle Irrigation**. New York: Published by Van Nostrand Reinhold, 652p. 1990.

LIMA, M. G. M.; MEDEIROS, R. M.; SABOYA, L. M. F. Oscilações quinquenal do balanço hídrico no povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**. 2024.

MARENGO, J. A.; ALCANTARA, E.; CUNHA, A. P.; SELUCHI, M.; NOBRE, C. A.; DOLIF, G.; GONCALVES, D.; ASSIS DIAS, M.; CUARTAS, L. A.; BENDER, F.; RAMOS, A. M.; MANTOVANI, J. R.; ALVALÁ, R. C.; MORAES, O. L. Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25-28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. **Weather and Climate Extremes**, v. 39, p. 100545, 2023.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 89, 2015.

MATOS, R. M.; SILVA, J. A. S.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática para a cultura do feijão caupi do município de Barbalha - CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n.6, p.422-431, 2014.

MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; BORGES, V. E.; SOBRINHO, T. G.; DANTAS NETO, J.; SABOYA, L. M. F. Potencial agroclimático para a cultura da mangueira no município de Barbalha - CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada [online]** 12. 2018.

MEDEIROS, R. M. **Estudo agrometeorológico para o Estado da Paraíba**. Distribuição avulsa, p.165. 2018.

MEDEIROS, R. M. Milho e sorgo e suas potencialidades nas aptidões climáticas para o Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Mirante**, Anápolis (GO), v. 13, n. 2, dez. 2020. ISSN 1981-4089. 2020.

MEDEIROS, R. M.; AZEVEDO, P. V.; SABOYA, L. M. F. Classificação climática e zoneamento agroclimático para o município de Amarante-PI. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, n.2, p.170-180, 2013.

MEDEIROS, R. M.; MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; SILVA, J. A. S. Caracterização climática e diagnóstico da aptidão agroclimática de culturas para Barbalha - CE. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, p.461 - 2015.

OLIVEIRA, L. D. **As contribuições da climatologia para prevenção e combate a incêndios florestais no Parque Estadual Serra do Rola Moça**. 2023. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais. 232p. 2023.

OLIVEIRA, P. T.; SANTOS e SILVA, C. M.; LIMA, K. C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, 130, 77–90. 2017.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA PARA O MUNICÍPIO DE BALSAS-MA. **Revista Scientia Agraria**, v.18, n.1, p.83-89, 2017.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 183p. 1997.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

QUELUZ, J. T. G.; KLAR, A. E. Distribuição espacial do balanço hídrico climático em diferentes regimes de chuvas no Estado de Pernambuco. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**. v. 6, n. 1, p. 7-19, 2013.

RÁPALO, L. M. C.; ULIANA, E. M.; MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D.; RIBEIRO, C. B. M.; CRUZ, I. F.; PEREIRA, D. R. Effects of land-use and-cover changes on streamflow regime in the Brazilian Savannah. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v.38, 100934, 2021.

SABOYA, L. M. F.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; FRANÇA, M. V.; ARAÚJO, W. R.; CUNHA FILHO, M. Probabilidade de chuvas em Bom Jesus Piauí, Brasil. **Research, Society and Development**, 11(3), e32411326609, 2022.

SANTOS, E. F. N.; BARRETO, I. D. C.; BARBOSA, E. A. S.; CAMPOS, L.; SILVA, A. S. A. Contribuição das técnicas multivariadas a índices de seca na compreensão das otto-regiões da bacia do São Francisco. **Research, Society and Development**, v.10, n.3, p.e7210313118, 2021

SILVA, M. T.; SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V. O cultivo do algodão herbáceo no sistema de sequeiro no Nordeste do Brasil, no cenário de mudanças climática. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.80–91, 2012.

Capítulo 14 - COMPARATIVO DO BALANÇO HÍDRICO ENTRE O POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS, PARAÍBA E CARUARU, PERNAMBUCO

Romildo Morant de Holanda
Kyriale Vasconcelos Morant Cavalcanti
Salatiel Ewen Braga
Raimundo Mainar de Medeiros
Vinícius Dantas de Araújo

RESUMO

O clima é resultado da interação entre elementos abióticos como orografia, precipitação, temperatura, solo, umidade relativa, latitude, continentalidade/maritimidade e correntes marítimas, e bióticos, como a vegetação, que moldam as condições ambientais de uma determinada área. Este capítulo tem como objetivo avaliar as condições hídricas por meio da análise de cenários térmicos e pluviais, utilizando o cômputo do balanço hídrico climatológico (BHC), uma ferramenta de grande relevância para os setores agropecuário e agrícola, com reflexos importantes na esfera socioeconômica, ao permitir um melhor gerenciamento dos recursos hídricos. A metodologia adotada baseia-se no cálculo da eficiência e da disponibilidade de água no solo. Os dados térmicos e pluviais utilizados foram computados pelo software Estima-T, com informações fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia, referentes ao período de 2010 a 2023. Verificou-se que fatores como altitude, latitude e longitude exercem influência nos padrões climáticos locais. A relação entre evapotranspiração e precipitação anual evidenciou que, na média, a evapotranspiração supera a precipitação, ou que o solo apresenta boa capacidade de retenção de água. O regime de chuvas, caracterizado por uma estação seca bem definida e distribuição irregular durante a estação chuvosa, aliado à pobreza dos solos em nutrientes, exige elevado nível técnico para produção agrícola. Nesse contexto, recomenda-se a adoção de práticas de manejo que favoreçam a conservação da água no solo.

Palavras-chave: Conservação do solo, Eficiência hídrica, Agricultura técnica, Evapotranspiração, Planejamento climático.

COMPARATIVE WATER BALANCE BETWEEN THE VILLAGE OF RIBEIRA DE CABACEIRAS, PARAÍBA AND CARUARU, PERNAMBUCO

ABSTRACT

Climate results from the interaction between abiotic elements such as orography, precipitation, temperature, soil, relative humidity, latitude, continentality/maritimity, and ocean currents, and biotic elements, such as vegetation, which shape the environmental conditions of a given area. This chapter aims to assess water conditions through the analysis of thermal and rainfall scenarios, using the computation of the climatological water balance (CWB), a highly relevant tool for the agricultural and livestock sectors, with significant implications for the socioeconomic sphere, by enabling better water resource management. The methodology adopted is based on the calculation of soil water availability and efficiency. The thermal and rainfall data were computed using the Estima-T software, with information provided by the National Institute of Meteorology, covering the period from 2010 to 2023. It was found that factors such as altitude, latitude, and

longitude influence local climate patterns. The relationship between evapotranspiration and annual precipitation revealed that, on average, evapotranspiration exceeds precipitation, or that the soil has good water retention capacity. The rainfall regime, characterized by a well-defined dry season and irregular distribution during the wet season, combined with nutrient-poor soils, demands a high technical level for agricultural production. In this context, the adoption of soil management practices that promote water conservation is recommended.

Keywords: Soil conservation, Water efficiency, Technical agriculture, Evapotranspiration, Climate planning.

INTRODUÇÃO

Villa et al. (2022) destacam que o monitoramento e a compreensão dos períodos chuvosos e secos, das temperaturas adequadas ao desenvolvimento das culturas, da disponibilidade de radiação solar e do balanço hídrico são condições fundamentais para garantir o retorno produtivo da atividade agrícola. Nesse contexto, o balanço hídrico se mostra uma ferramenta essencial para o acompanhamento dessas variáveis.

Segundo Martins et al. (2020), o balanço hídrico permite identificar quais culturas são mais adequadas a determinada região, além de possibilitar o planejamento dos períodos do ano em que a irrigação se torna necessária, otimizando o uso da água.

Para Rápalo et al. (2021) e Santos et al. (2021), os impactos climáticos vêm se intensificando em diversas regiões do planeta, com maior evidência na última década. As alterações nos ciclos hidrológicos têm influenciado diretamente os índices pluviométricos em termos de quantidade, frequência e duração, modificando os regimes de evaporação e evapotranspiração, a temperatura, o escoamento superficial e, consequentemente, a disponibilidade hídrica, principalmente em função do aumento de eventos climáticos extremos.

Medeiros (2020), ao calcular o balanço hídrico sequencial para o município de São Bento do Una (PE), propôs alternativas para o armazenamento e represamento de água como resposta à crise hídrica. O autor ressalta que os impactos climáticos vêm promovendo alterações significativas no balanço hídrico regional da última década, sendo agravados pela degradação ambiental e pelas ações antrópicas, que aceleram o processo de mudança do clima local e afetam a disponibilidade de água no solo.

Santos et al. (2019) apontam que os elementos e fenômenos meteorológicos resultam de diversos processos naturais e apresentam variações em múltiplas escalas temporais e espaciais. Assim, os eventos extremos de tempo ou clima são anomalias que podem ocorrer desde em alguns dias até ao longo de milênios (Marengo, 2009). No entanto, os eventos de curta duração têm despertado maior atenção na climatologia, pois os modelos climáticos projetam aumento tanto na frequência quanto na intensidade desses eventos (Marengo et al., 2016).

Este capítulo tem como objetivo avaliar as condições hídricas por meio da análise dos cenários climáticos térmicos e pluviais, utilizando o cômputo do balanço hídrico climático (BHC). Essa ferramenta apresenta ampla aplicabilidade para os setores agropecuário e agrícola, impactando também na esfera socioeconômica, ao contribuir para o gerenciamento integrado dos recursos hídricos. O BHC, nesse contexto, permite aferir a eficiência do uso da água e estimar sua disponibilidade no solo.

METODOLOGIA

O povoado Ribeira de Cabaceiras localiza-se na Microrregião do Cariri Oriental e na Mesorregião da Borborema, limitando-se com os municípios de São João do Cariri, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel, Boqueirão e Boa Vista. A área de estudo encontra-se nas coordenadas geográficas 7°43'S e 36°36'W de Greenwich, com altitude de 391 metros, situada na porção mais baixa do Planalto da Borborema (AESAs, 2023).

O povoado está inserido na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, especificamente na região do Alto Paraíba. Seus principais cursos d'água são os rios Taperoá, Paraíba e Boa Vista, além de diversos riachos como o Pombo, Gangorra, Pocinho, Varjota, Tanque, Fundo, Algoduais, Junco e Macambira. Destaca-se também o Açude Público Eptácio Pessoa, conhecido popularmente como Açude de Boqueirão, localizado na área do povoado (AESAs, 2023).

A vegetação nativa tem sido gradualmente substituída por algarobas (*Prosopis juliflora*), uma planta exótica invasora que hoje predomina na região. Os solos locais apresentam alterações devido a impactos ambientais provocados pelo processo de urbanização e pela arborização desordenada.

O clima e suas variações exercem significativa influência sobre o meio natural e a sociedade, podendo trazer efeitos tanto positivos quanto negativos. Considerando a dependência da população local em relação à agropecuária e ao armazenamento e distribuição de água, surge a reflexão: o clima global seria vulnerável às ações humanas.

Segundo a classificação de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1953), o clima da área é do tipo C1A'S1a' (clima seco subúmido, megatérmico, com 2,9% da ETP apresentando acentuado excesso no inverno). Já pelo sistema de Köppen e Geiger (1928) e Köppen (1931), o clima é classificado como BSh (clima quente de estepe, com temperaturas elevadas e chuvas esparsas no inverno, com média anual de 22 °C). O estudo de Alvares et al. (2014) confirma essas classificações para a área em questão.

Foram utilizados dados mensais de precipitação (mm), interpolados pelo método da Média Ponderada pelo Inverso da Distância ao Quadrado, obtidos a partir dos municípios vizinhos, no período de 2010 a 2023. Calculou-se também a anomalia pluvial e sua tendência. Os dados de temperatura (°C) foram gerados para o mesmo período por meio do software Estima-T. O balanço hídrico foi calculado adotando-se uma capacidade de campo de 100 mm, utilizando a metodologia de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955), com o auxílio de planilhas eletrônicas desenvolvidas por Medeiros (2018).

Entre os principais elementos que provocam chuvas na área estudada, destacam-se a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a presença de vórtices ciclônicos de altos níveis (VCANs), a formação de linhas de instabilidade e aglomerados convectivos, os ventos alísios de nordeste, a convergência de umidade e a troca de calor. Fatores locais, como cobertura de nuvens, umidade relativa do ar e eventos de chuva de fraca a moderada intensidade, também contribuem para o regime hídrico da região (Lima et al., 2024).

O clima da região é marcado por forte sazonalidade, com dois períodos distintos: de março a agosto, concentra-se 82% da precipitação anual, enquanto de setembro a fevereiro ocorrem apenas 18% das chuvas. Isso decorre da baixa pluviosidade, da reduzida umidade e cobertura de nuvens, e dos elevados índices de evaporação e evapotranspiração.

A NOAA (2021) recomenda que as normais climatológicas sejam baseadas em séries de 30 anos de observações consecutivas, garantindo maior consistência e

homogeneidade. Quando se utiliza um período reduzido, como uma normal provisória de 10 anos, é essencial que os dados sejam acumulados anualmente e analisados com rigor metodológico, respeitando critérios comparativos adequados.

Os dados térmicos foram estimados pelo software Estima-T para o período de 2010 a 2023, conforme as metodologias propostas por Cavalcanti e Silva (1994), Cavalcanti et al. (2006) e Silva et al. (2006). Os dados pluviométricos foram interpolados com base em informações dos municípios circunvizinhos, submetidos previamente a testes de consistência e homogeneização (AESA, 2023).

O município de Caruaru, localizado na Mesorregião do Agreste e na Microrregião do Vale do Ipojuca, em Pernambuco, faz fronteira com Toritama, Vertentes, Frei Miguelinho e Taquaritinga do Norte (ao norte), Altinho e Agrestina (ao sul), Bezerras e Riacho das Almas (a leste), e Brejo da Madre de Deus e São Caetano (a oeste). Sua área total é de 928,1 km², representando 0,94% do território estadual, sendo 16,6 km² em perímetro urbano e 903,9 km² na zona rural. A sede do município encontra-se a 554 metros de altitude, com coordenadas geográficas de 08°17'S e 35°58'W.

O clima de Caruaru é do tipo semiárido (BSh), conforme a classificação de Köppen e Geiger (1928), apresentando verões quentes e secos e invernos mais amenos e chuvosos. Essa classificação é corroborada por Alvares et al. (2014) e Medeiros et al. (2018). A quadra chuvosa inicia-se em fevereiro com as chamadas chuvas de pré-estação, estendendo-se até o final de agosto ou, ocasionalmente, até a primeira quinzena de setembro. O pico das chuvas ocorre entre maio e julho, enquanto os meses secos se concentram entre outubro e dezembro.

Entre os principais fatores geradores de chuva em Caruaru estão a ZCIT, os VCANs, os ventos alísios do nordeste responsáveis pelo transporte de umidade, as linhas de instabilidade, a orografia e demais contribuições locais e regionais (Medeiros et al., 2016).

Foram utilizados dados médios mensais de temperatura do ar (°C), referentes ao período de 2010 a 2023. Tais dados foram estimados por meio do software Estima-T, de acordo com o modelo empírico de superfície quadrática, que utiliza as variáveis de longitude, latitude e altitude para gerar as estimativas (Cavalcanti e Silva, 1994; Cavalcanti et al., 2006; Silva et al., 2006).

$$T = C0 + C1\lambda + C2\varnothing + C3h + C4\lambda^2 + C5\varnothing^2 + C6h^2 + C7\lambda\varnothing + C8\lambda h + C9\varnothing h$$

Onde:

C0, C1, ..., C9: constantes;

λ , λ^2 , $\lambda\varnothing$, λh : longitude;

$\varnothing$, $\varnothing^2$, $\lambda\varnothing$: latitude;

h, h^2 , λh , $\varnothing h$: altura.

Utilizou-se ainda da série temporal de temperatura, adicionando a esta a anomalia de temperatura do Oceano Atlântico Tropical de acordo com Cavalcanti et al. (2006).

$$T_{ij} = T_i + AAT_{ij}$$

Onde:

i: 1, 2, 3, ..., 12

j: 1950, 1951, 1952, 1953, ..., 2014.

O balanço hídrico foi calculado a partir das médias climatológicas de temperatura e precipitação para as áreas estudadas. Adotou-se a capacidade de campo de 100 mm e a metodologia utilizada seguiu os procedimentos propostos por Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955).

RESULTADO E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, observam-se as variações dos elementos do balanço hídrico para o período de 2010-2023 no povoado Ribeira de Cabaceiras. As oscilações térmicas fluíram de 23,4 °C (julho) a 27,0 °C (dezembro), com média anual de 25,6 °C ao longo do período de estudo. Os meses com menores índices térmicos ocorrem entre abril e setembro, enquanto as maiores elevações térmicas foram registradas entre outubro e março. Os picos de máximas e mínimas ocorreram em dezembro e julho, respectivamente. Observa-se que a maior parte do período esteve com céu limpo ou parcialmente nublado, o que pode ter influenciado a incidência de radiação solar nas superfícies e, consequentemente, alterado as flutuações térmicas, corroborando com os resultados encontrados por Medeiros et al. (2015).

Tabela 1. Elementos do balanço hídrico climatológico, no Povoado Ribeira de Cabaceiras, entre 2008-2023.

Meses	T(°C)	P(mm)	ETP(mm)	ETR(mm)	DEF(mm)	EXC(mm)
Janeiro	26,8	32,7	146,0	32,7	113,3	0,0
Fevereiro	26,6	23,2	131,4	23,2	108,3	0,0
Março	26,3	59,7	138,8	59,7	79,1	0,0
Abril	25,9	58,7	124,3	58,7	65,6	0,0
Mai	25,1	59,5	113,2	59,5	53,7	0,0
Junho	24,0	51,7	93,8	51,7	42,1	0,0
Julho	23,4	36,8	88,4	36,8	51,6	0,0
Agosto	23,9	19,3	95,2	19,3	75,9	0,0
Setembro	25,0	4,9	109,7	4,9	104,7	0,0
Outubro	26,1	8,6	133,4	8,6	124,8	0,0
Novembro	26,8	7,4	143,8	7,4	136,4	0,0
Dezembro	27,0	20,3	154,9	20,3	134,5	0,0
Anual	25,6	382,9	1472,9	382,9	1090,0	0,0

Fonte: O Autor.

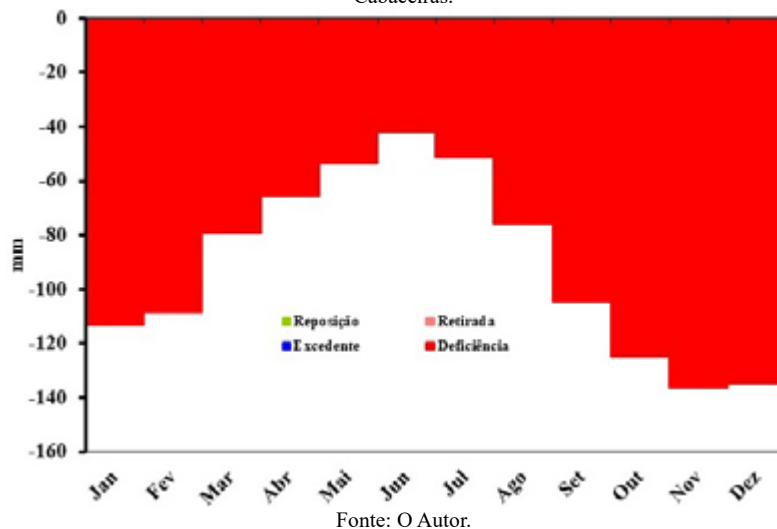
A precipitação anual foi de 382,9 mm ano⁻¹. Os maiores índices pluviiais ocorrem entre janeiro e julho, correspondendo a 84,4% do total anual. Já os menores índices registraram-se entre agosto e dezembro, totalizando 15,6% do valor anual. Constatou-se que evapotranspirou-se mais de quatro vezes o valor da precipitação: a ETP anual registrada foi de 1.472,9 mm. Os maiores valores de ETP provavelmente ocorreram devido à maior disponibilidade de energia solar neste período do ano (Martins et al., 2014), juntamente ao aumento da umidade do solo, considerada uma das principais condicionantes da ETP (Medeiros, 2018).

Além disso, foi possível observar índices evaporados iguais ao valor da precipitação anual (382,9 mm), com picos máximos e mínimos nos meses de abril (59,7 mm) e setembro (4,9 mm), respectivamente. Não houve registros de excedente hídrico durante o período estudado, ou seja, os índices pluviiais ocorridos não foram suficientes para ultrapassar a capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) de 100 mm. A deficiência hídrica anual foi de 1.090,0 mm, com déficit registrado em todos

os meses, dado que a CAD de 100 mm completou sua capacidade. Segundo Scheepers e Du Toit (2020), a deficiência hídrica representa a quantidade de água que a planta necessita menos a água presente no solo, tornando-se crítica nos períodos secos. No que se refere ao armazenamento hídrico, os autores ressaltam que a adoção de medidas preventivas durante esses períodos é essencial para evitar a escassez, especialmente com vistas a garantir o abastecimento básico à população.

Na Figura 1, observa-se o extrato do balanço hídrico, com CAD de 100 mm, entre 2010 e 2023, no povoado Ribeira de Cabaceiras. As flutuações pluviais intermensais registraram deficiências hídricas moderadas a fortes durante praticamente todo o ano. Os estudos de Marengo et al. (2023) corroboram essas discussões.

Figura 1. Extrato do balanço hídrico, com a CAD de 100 mm, entre 2010 - 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Verificaram-se índices evaporados anuais de 536,6 mm, com picos máximos e mínimos em abril (78,0 mm) e outubro (12,6 mm), respectivamente, sem registros de excedente hídrico durante o período analisado. A deficiência hídrica anual totalizou 490,0 mm, com déficit registrado em 10 meses. Os valores evapotranspirativos superaram os pluviais, com oscilações térmicas mal distribuídas e irregulares, influenciadas pelas variações regionais e locais. Esses resultados estão em consonância com os estudos do IPCC (2014, 2022), Medeiros (2020), França et al. (2022) e Marengo et al. (2019).

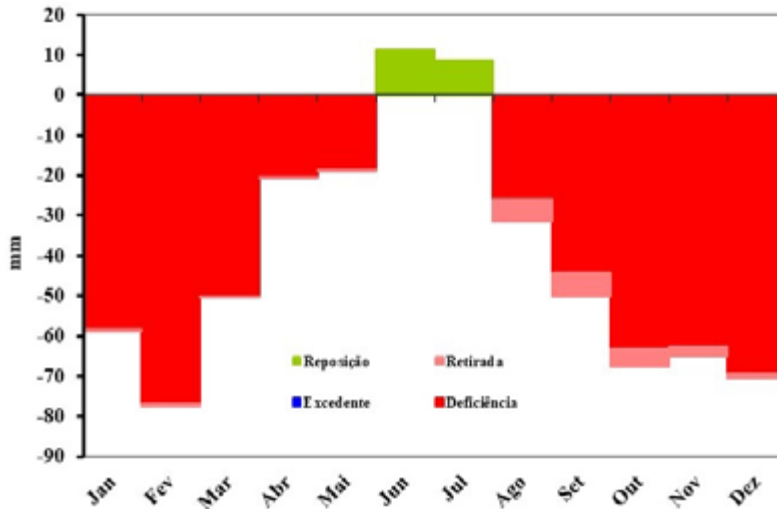
Tabela 2. Elementos do balanço hídrico climatológico, em Caruaru - Pernambuco, entre 2010-2023.

Meses	T(°C)	P(mm)	ETP(mm)	ETR(mm)	DEF(mm)	EXC(mm)
Janeiro	23,0	38,7	97,5	39,3	58,3	0,0
Fevereiro	24,3	26,9	104,2	27,3	77,0	0,0
Março	24,8	69,9	120,0	70,0	50,0	0,0
Abril	23,3	78,6	99,0	78,6	20,4	0,0
Maio	22,6	75,1	93,8	75,1	18,7	0,0
Junho	20,9	86,4	75,0	75,0	0,0	0,0
Julho	19,1	70,3	61,5	61,5	0,0	0,0
Agosto	19,3	32,0	63,5	37,4	26,0	0,0
Setembro	20,0	17,5	67,7	23,4	44,3	0,0
Outubro	20,6	8,2	75,9	12,6	63,3	0,0
Novembro	21,4	16,4	81,3	18,6	62,7	0,0
Dezembro	21,6	15,9	86,4	17,1	69,3	0,0
Anual	21,7	536,0	1026,0	536,0	490,0	0,0

Fonte: O Autor.

Na Figura 2, referente ao município de Caruaru – PE, observa-se a ocorrência de deficiências hídricas moderadas a fortes entre os meses de agosto a maio, com reposição de água no solo de baixa intensidade nos meses de junho e julho. Os sistemas de bloqueios atmosféricos de meso e microescala atuaram com intensidade moderada, afetando o transporte de vapor e umidade, reduzindo a cobertura de nuvens e os índices pluviais, aumentando a intensidade da radiação e insolação, diminuindo a ventilação e elevando os índices térmicos, assim como os poderes evaporativos e evapotranspirativos. Resultados similares foram detectados por Marengo et al. (2019), França et al. (2022), Medeiros et al. (2022) e IPCC (2023).

Figura 2. Extrato do balanço hídrico, com a CAD de 100 mm, entre 2010 - 2023 em Caruaru.



Fonte: O Autor.

Na Tabela 4, apresentam-se as oscilações mensais e anuais dos índices evapotranspirativos e evaporativos para o povoado Ribeira de Cabaceiras e o município de Caruaru – PE, entre 2010 e 2023.

O poder evaporativo no povoado Ribeira de Cabaceiras superou os índices pluviiais, de modo que tudo que choveu evaporou praticamente de forma imediata. No município de Caruaru, o poder evaporativo foi irregular e desordenado, com 100% da precipitação anual evaporada, conforme demonstrado na Tabela 4.

As variabilidades evapotranspirativas em Caruaru foram mais intensas que as registradas no povoado Ribeira de Cabaceiras, fato atribuído à cobertura asfáltica, à densidade de edificações, ao número elevado de veículos automotores, à escassez de arborização e ao mau dimensionamento das vias urbanas. Esses fatores contribuem para o aumento do calor urbano, ocasionando acréscimos relevantes em elementos meteorológicos como temperatura, vento, radiação, evaporação e evapotranspiração. Resultados similares foram discutidos por Marengo et al. (2019), Medeiros et al. (2022) e França et al. (2020).

Tabela 4. Valores evapotranspirativos/evaporativos mensais e anuais, para o Povoado Ribeira de Cabaceiras e Caruaru, entre 2010-2023.

Mês	Povoado Ribeira de Cabaceiras		Caruaru	
	Prec/ETP (%)	Prec/EVR (%)	Prec/ETP (%)	Prec/EVR (%)
Janeiro	22,4	100,0	39,7	98,7
Fevereiro	17,6	100,0	25,8	98,7
Março	43,0	100,0	58,2	99,8
Abril	47,2	100,0	79,4	100,0
Maio	52,6	100,0	80,0	100,0
Junho	55,1	100,0	115,2	115,2
Julho	41,6	100,0	114,2	114,2
Agosto	20,3	100,0	50,4	85,4
Setembro	4,5	100,0	25,9	75,0
Outubro	6,5	100,0	10,9	65,2
Novembro	5,2	100,0	20,2	88,3
Dezembro	13,1	100,0	18,4	93,0
Anual	26,0	100,0	52,2	100,0

Fonte: O Autor.

Ao se observar as flutuações dos índices entre as áreas estudadas, percebe-se que as oscilações foram mais significativas no município de Caruaru – PE, justificando-se pelas causas já expostas.

Tabela 5. Valores dos índices: umidade, aridez e hídrico para o Povoado Ribeira de Cabaceiras e Caruaru.

Índices (%)	Povoado Ribeira de Cabaceiras	Caruaru
Umidade	74,01	47,76
Aridez	0,74	0,48
Hídrico	-0,44	-0,29

Fonte: O Autor.

CONCLUSÃO

As variações e oscilações térmicas e pluviais observadas nos períodos estudados não são suficientes, por si só, para caracterizar um regime de mudanças climáticas. No entanto, é notória a ocorrência frequente de eventos extremos, os quais são atribuídos à instabilidade atmosférica e aos movimentos de microescala e mesoescala.

A relação entre evapotranspiração e precipitação nos valores anuais evidenciou que o volume de chuva é inferior à quantidade de água evapotranspirada, o que pode indicar baixa disponibilidade hídrica ou, alternativamente, uma boa capacidade de retenção de água pelo solo. O regime pluviométrico, marcado por uma estação seca bem definida e pela má distribuição das chuvas no período chuvoso, aliado à pobreza de nutrientes nos solos, exige elevado nível técnico para viabilizar a produção agrícola. Diante disso, recomenda-se a adoção de práticas de manejo que favoreçam a conservação da umidade no solo.

Como sugestão para estudos futuros, é importante analisar outros elementos climáticos, a fim de compreender melhor a ocorrência de fenômenos adversos na região e possíveis alterações em seu comportamento climático.

REFERÊNCIAS

- AESA - **Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba**. João Pessoa, 2023.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 2014.
- CAVALCANTI, E. P.; SILVA, E. D. V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8, 1994. Belo Horizonte, **Anais...Belo Horizonte: SBMET**, 1, p.154-157. 1994.
- 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*, 10. p.140-147. 2006.
- FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática do sorgo como suporte alimentar a avicultura de São Bento Una-Pernambuco, Brasil. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 8, n. 4, p. 275-283, 2022.
- FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; ARAÚJO, W. R.; HOLANDA, R. M. Balanço hídrico e suas variabilidades em período de El Niño e La Niña visando às oscilações erosivas em Amparo de São Francisco - Sergipe - Brasil. *Research, Society and Development*. 9, e443996995. 2020.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2023.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for policymakers In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA) ed C B Field et al. (Cambridge University Press) pp 1–32. 2014.
- IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. H. O. PÖRTNER, D. C.; ROBERTS, E. S.; POLOCZANSKA, K.; MINTENBECK, M.; TIGNOR, A.; ALEGRÍA, M.; CRAIG, S.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, V.; MÖLLER, A. OKEM (eds.). Cambridge University Press. 2022.
- KÖPPEN, W. (1931). Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science. **Berlin: Walter de Gruyter**. P.388.

KÖPPEN, W. GEIGER, R. (1928). **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150 x 200cm.

LIMA, M. G. M.; MEDEIROS, R. M.; SABOYA, L. M.F. Oscilações quinquenal do balanço hídrico no povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**. 2024.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. **In: FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (FBDS)**. Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. Rio de Janeiro: FBDS, 2009. v. 24.

MARENGO, J. A.; ALCANTARA, E.; CUNHA, A. P.; SELUCHI, M.; NOBRE, C. A.; DOLIF, G.; GONCALVES, D.; ASSIS DIAS, M.; CUARTAS, L. A.; BENDER, F.; RAMOS, A. M.; MANTOVANI, J. R.; ALVALÁ, R. C.; MORAES, O. L. Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25-28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. **Weather and Climate Extremes**, v. 39, p. 100545, 2023.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; SOARES, W. R.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M.; de BARROS BRITO, S. S.; CUARTAS, L. A.; LEAL, K.; RIBEIRO NETO, G.; ALVALÁ, R. C. S.; MAGALHAES, A. R. Increase Risk of Drought in the Semiarid Lands of Northeast Brazil Due to Regional Warming above 4 °C. **Climate Change Risks in Brazil**. 1ed.: Springer International Publishing, v., p. 181-200. 2019.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in northeast Brazil-past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3-4: p. 1189-1200, 2016.

MARTINS, P. A. S.; QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; QUERINO, J. K. A. S.; BENTOLILA, L. B. V.; SILVA, P. C. S. Climatic Water Balance and Thornthwaite and Mather (1955) Climate Classification for Manicoré Municipality in Amazonas South Mesoregion. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, 25, 3, 641-655. 2020.

MEDEIROS, R. M. **Estudo agrometeorológico para o Estado da Paraíba**. Distribuição avulsa, p.165. 2018.

MEDEIROS, R. M. Milho e sorgo e suas potencialidades nas aptidões climáticas para o Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Mirante**, Anápolis (GO), v. 13, n. 2, dez. 2020. ISSN 1981-4089. 2020.

MEDEIROS, R. M.; FRANÇA, M. V.; SABOYA, L. M. F.; HOLANDA, R. M.; WAGNER, R. B.; BRAGA, S. E. Balanço hídrico e seus comparativos com 1996-2005, 2006-2015 em relação a 2015 no município de São Bento do Una - PE. **E-Acadêmica**, 3, e7532226. 2022.

MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; VIANA, M. A.; SILVA, V. P. CLIMATE CLASSIFICATION IN KÖPPEN MODEL FOR THE STATE OF PERNAMBUCO - BRAZIL. **REVISTA DE GEOGRAFIA (RECIFE)**, v. 35, p. 219-234, 2018.

MEDEIROS, R. M.; MATOS, R. M.; SABOYA, L. M. F. Oscilações Pluviométricas e da Temperatura Média do Ar em Seis Regiões Homogêneas do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física** V. 08 N. 03. 327-340. 2015.

MEDEIROS, R. M.; SOUSA, F. A. S.; COSTA, M. N. M.; CAVALCANTI, E. P.; GOMES FILHO, M. F. Average daily flow estimate using the model mobile media in the watershed of Uruçuí Preto river - PI, Brazil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 6, p. 108-115, 2016.

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. U.S. Climate Normals Updated for the 1991–2020 Period. **National Centers for Environmental Information**, 2021.

RÁPALO, L. M. C.; ULIANA, E. M.; MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D.; RIBEIRO, C. B. M.; CRUZ, I. F.; PEREIRA, D. R. Effects of land-use and-cover changes on streamflow regime in the Brazilian Savannah. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v.38, 100934, 2021.

SANTOS, A. L. S.; SILVA, H. S. D.; SILVA, J. R. S.; STOSIC, T. Propriedades Multifractais da Temperatura do ar do Ar Diária no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.34, n.1, p.23-31, 2019.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

SANTOS, E. F. N.; BARRETO, I. D. C.; BARBOSA, E. A. S.; CAMPOS, L.; SILVA, A. S. A. Contribuição das técnicas multivariadas a índices de seca na compreensão das otto-regiões da bacia do São Francisco. **Research, Society and Development**, v.10, n.3, p.e7210313118, 2021

SCHEEPERS, G. P.; DU TOIT, B. Soil water deficit as a tool to measure water stress and inform silvicultural management in the Cape Forest Regions, South Africa. **iForest**, v. 13, n. 6, p. 473-481, 2020.

SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S.; CAVALCANTI, E. P.; SOUZA, E. P.; SILVA, B. B. Teleconnections between sea-surface temperature anomalies and air temperature in northeast Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 68, n. 1, p.781-792. 2006.

THORNTON, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review** **38**, 55-94. 10.2307/210739. 1948.

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. **Centerton: Drexel Institute of Technology**, 1953. 311p. (Drexel Institute of Technology. Publications in Climatology; v. 10, n. 3).

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publication in Climatology**, n.8, Laboratory of Climatology, Centerton, N. J. 1955.

VILLA, B.; PETRY, M. T.; MARTINS, J. D.; TONETTO, F.; TOKURA, L. K.; MOURA, M. B.; SILVA, C. M.; GONÇALVES, A. F.; CERVEIRA, M. P.; SLIM, J. E.; SANTOS, M. S.; JIMENEZ, D. H. Balanço hídrico climatológico: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n.6, p. 1-9, 2022.

Capítulo 15 - VARIABILIDADE TÉRMICA NAS ESTAÇÕES DO ANO E SUAS MÉDIAS MÓVEIS, NO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRASIL

Romildo Morant de Holanda
Raimundo Mainar de Medeiros
Salatiel Ewen Braga
Wagner Rodolfo de Araújo
Kyriale Vasconcelos Morant Cavalcanti

RESUMO

A temperatura é um dos elementos atmosféricos mais relevantes nos estudos sobre conflitos ambientais, sensação térmica e mudanças climáticas, especialmente no que se refere às oscilações hidrometeorológicas. Este capítulo tem como objetivo analisar e compreender as oscilações térmicas máximas e mínimas no Povoado Ribeira de Cabaceiras – PB, no período de 2008 a 2023, discutindo suas possíveis causas associadas às estações do ano. As informações obtidas são consideradas úteis para embasar decisões governamentais e civis em diversas áreas de atuação. Os dados de temperaturas extremas (máxima e mínima) foram estimados pelo software Estima-T, com base no período de 2008 a 2023. As médias térmicas foram organizadas por estação do ano: verão (dezembro, janeiro e fevereiro), outono (março, abril e maio), inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro, outubro e novembro). Em seguida, calcularam-se as médias móveis trianuais e quadrianuais, acompanhadas de seus respectivos gráficos. As temperaturas máximas e mínimas apresentaram fortes oscilações intermensais, com flutuações dinâmicas influenciadas por fatores como latitude e altitude. Na análise por estações, observou-se variação nos valores médios, com destaque para as temperaturas mínimas, que apresentaram oscilações mais significativas durante o verão, outono e primavera.

Palavras-chave: Estações climáticas, Médias móveis, Oscilações térmicas, Estima-T, Planejamento ambiental.

THERMAL VARIABILITY ACROSS SEASONS AND THEIR MOVING AVERAGES IN THE VILLAGE OF RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRAZIL ABSTRACT

Temperature is one of the most relevant atmospheric elements in studies related to environmental conflicts, thermal sensation, and climate change, especially concerning hydrometeorological fluctuations. This chapter aims to analyze and understand the maximum and minimum thermal fluctuations in the Village of Ribeira de Cabaceiras – PB, from 2008 to 2023, discussing their possible causes associated with the seasons of the year. The information obtained is considered useful to support governmental and civil decision-making in various fields. The extreme temperature data (maximum and minimum) were estimated using the Estima-T software, covering the 2008 to 2023 period. The thermal averages were grouped by season: summer (December, January, and February), autumn (March, April, and May), winter (June, July, and August), and spring (September, October, and November). Then, three-year and four-year moving averages were calculated, accompanied by their respective graphs. The maximum and minimum temperatures showed strong inter-monthly fluctuations, with dynamic variations influenced by factors such as latitude and altitude. In the seasonal analysis, variations in

average values were observed, especially regarding minimum temperatures, which presented more significant fluctuations during summer, autumn, and spring.

Keywords: Climatic seasons, Moving averages, Thermal fluctuations, Estima-T, Environmental planning.

INTRODUÇÃO

O território brasileiro apresenta peculiaridades naturais resultantes de sua ampla extensão no sentido norte-sul e de sua localização na zona tropical. Essas características geográficas influenciam significativamente os elementos climáticos do país, impactando diretamente os ecossistemas e as atividades humanas, especialmente a agricultura.

Amorim et al. (2004) relatam que variáveis como temperatura, pluviometria, evaporação, evapotranspiração, umidade relativa, insolação e radiação estão intrinsecamente ligadas à agricultura por influenciarem os processos climáticos. Assim, estudos que contemplem dados sobre recursos hídricos, aspectos hidrológicos, climatológicos, agrometeorológicos, agroecológicos e agroclimáticos, bem como informações sobre relevo, declividade, tipo de solo e cobertura vegetal, são fundamentais para subsidiar projetos e planejamentos socioeconômicos e agrícolas.

Ayoade (2001) destaca que a altitude é um dos principais fatores que influenciam as temperaturas nos trópicos. A relativa uniformidade térmica predominante nessas regiões é fortemente condicionada pela elevação. Diferenças térmicas significativas entre curtas distâncias são geralmente explicadas pelas variações altimétricas. Além disso, o grau de modificação térmica depende da elevação e da nebulosidade, havendo ainda contrastes notáveis entre áreas situadas a barlavento e a sotavento de elevações montanhosas. Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), atributos do relevo como posição, orientação e declividade das vertentes também exercem influência decisiva sobre o clima.

Medeiros et al. (2022), ao estudarem a região de Bom Jesus (PI), buscaram fornecer subsídios para pesquisadores, gestores públicos e, sobretudo, para o setor agrícola. Para isso, calcularam médias mensais e sazonais para as quatro estações do ano, além de médias móveis quinquenais e decenais. Os autores constataram que latitude e altitude são fatores fisiográficos relevantes para explicar as flutuações térmicas anuais e a variabilidade entre estações. Tais oscilações, segundo eles, resultam da atuação de sistemas sinóticos durante os períodos chuvoso e seco, além de interferências antrópicas no ambiente.

Holanda et al. (2022) também utilizaram séries históricas de temperatura média (1960 a 2018) para o município de Bom Jesus (PI), calculando médias sazonais e médias móveis de cinco e dez anos. Os autores apontaram que a elevação e a latitude explicam as variações térmicas entre estações. Além disso, ressaltaram que os sistemas sinóticos atuantes impactam significativamente o ambiente e podem estar relacionados à variabilidade dos índices pluviométricos.

Medeiros et al. (2020) analisaram as tendências térmicas máximas e mínimas na região de Bom Jesus (PI), explorando suas variações sazonais. O estudo caracterizou o comportamento climático durante períodos quentes e frios, fornecendo subsídios relevantes para o planejamento agropecuário e para o agronegócio. As tendências foram identificadas em escalas local e regional, com representatividade mensal e anual, demonstrando forte correlação com os dados observados por meio de índices estatísticos.

Diante disso, este estudo tem como objetivo analisar e compreender as flutuações térmicas máximas e mínimas entre os anos de 2008 e 2023, discutindo suas possíveis causas associadas às estações do ano. Espera-se que essas informações sejam úteis para gestores públicos, agricultores e demais setores interessados no desenvolvimento sustentável do município analisado.

METODOLOGIA

Os dados de temperaturas extremas (máxima e mínima) foram estimados por meio do software Estima-T, abrangendo o período de 2008 a 2023. A partir dessas séries, calcularam-se as médias mensais e anuais. Essas médias foram organizadas de acordo com as estações do ano: verão (dezembro, janeiro e fevereiro), outono (março, abril e maio), inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro, outubro e novembro). Em seguida, calcularam-se as médias móveis de três e quatro anos, seguidas da construção dos respectivos gráficos.

Nas amostras de médias móveis, $(\tilde{Y}_t)$ é considerada linearmente dependente de um número finito qq de ruídos brancos, ou seja, $(\tilde{Y}_t)$ representa uma amostra linear com o somatório truncado em (q) termos. Essa relação pode ser representada por:

$$\tilde{Y}_t = \varepsilon_t - \Theta_1 \varepsilon_{t-1} - \Theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \Theta_q \varepsilon_{t-q}$$

Onde:

Θ'_s são os coeficientes médias-móveis;

ε_t o ruído branco;

$\tilde{Y}_t$ é a vazão mensal do mês t representando o operador média móvel de ordem q efetuado por

$$\Theta_q(B) = 1 - \sum_{j=1}^q \theta_j B^j$$

Sendo também expressa por:

$$\tilde{Y}_t = \Theta_q(B) \varepsilon_t$$

Essas amostras envolvem (q+2) parâmetros desconhecidos: $\mu, \phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p, \sigma^2 \varepsilon$, sendo estimados por métodos análogos aos utilizados em modelos autorregressivos. No entanto, conforme Box (2013), não há justificativa estatística para a utilização de modelos com ordem (q) superior a 2.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Em escala global, as oscilações térmicas evidenciam um aquecimento expressivo durante o século XX, citando as flutuações altíssimas para os períodos atuais, destacando com maiores influências para as flutuações térmicas mínimas (IPCC 2007).

Na Figura, 1 tem-se as oscilações das temperaturas máximas registradas entre 2008 – 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras, a estação verão, ocorrem entre dezembro, janeiro e fevereiro, registaram flutuações térmicas máximas irregulares e má distribuídas, oscilando de 32,0°C (2008) a 33,1°C (2016), ocasionando pela baixa cobertura de nuvens, ausências de chuvas, alta incidência da insolação e radiação, ocorrências de focos de incêndio e queimadas, acima dos padrões normais.

A média móvel de três anos tem maior probabilidade de ocorrência de serem representativas no futuro próximos. Conforme salienta o IPCC (2021, 2022).

Observam-se que na estação verão, a variação de temperatura máxima, mostrou-se desuniforme analisando as compartimentações geomorfológicas.

Figura 1. As flutuações das temperaturas máximas na estação verão, entre 2008 - 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

A temperatura mínima anual da estação verão, é de 21,0°C, (Figura 2), com oito anos de temperatura mínima acima da média, cinco anos com temperatura abaixo da média, e três anos próximo a média. A temperatura mínima flui de 20,5°C a 21,7°C, estas flutuações corroboram com as discussões de Marengo e Camargo (2008); Marengo et al. (2019); Medeiros et al. (2022) e IPCC (2021). A média móvel poderá ser repetida nos próximos três anos. A tendência é que a possibilidade da temperatura mínima poderá sua caminhada de elevação, deixando as madrugadas e amanhecer mais quentes, estudo de Medeiros e Cavalcanti (2020); Medeiros et al. (2022), corroboram com as discussões.

A estação verão, demonstras elevações dos índices térmicos mínimos, em conformidade, as similaridades detectadas por Marengo et al. (2019); França e Medeiros (2020) IPCC (2022).

Figura 2. As flutuações das temperaturas mínimas na estação verão, entre 2008 - 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

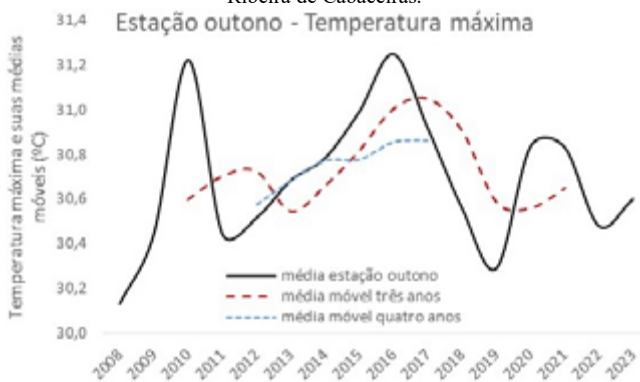
As flutuações climáticas térmicas e suas variabilidades são de suma importância o seu conhecimento sobre os eventos extremos, os quais impactam no ambiente e nas questões socioeconômicas e agropecuária.

As flutuações térmicas máximas entre 2008 a 2023 (Figura 3), fluíram de 31,2°C (2016) a 30,1°C (2008). Os anos que se registrou temperatura máxima igual a média histórica, foram 2013 e 2018; Temperatura mínima menor que a média, ocorreram em 2011; 2012; 2019; 2022 e 2023. Com médias superiores registrou-se os anos de 2009; 2010; 2014 a 2017; 2020 e 2021.

As flutuações decorrem dos sistemas de bloqueios em atividade ou não, incidência de insolação e radiação solar. Os estudos de Medeiros et al. (2018); Medeiros et al. (2015), corroborar com os resultados e discussões apresentado.

As médias móveis de três têm possibilidades de sem repetidas em futuro próximos, e as média de quatro anos suas possibilidades são reduzidas (Marengo et al., 2019; Marengo et al., 2021).

Figura 3. As flutuações das temperaturas máximas na estação outono, entre 2008 - 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

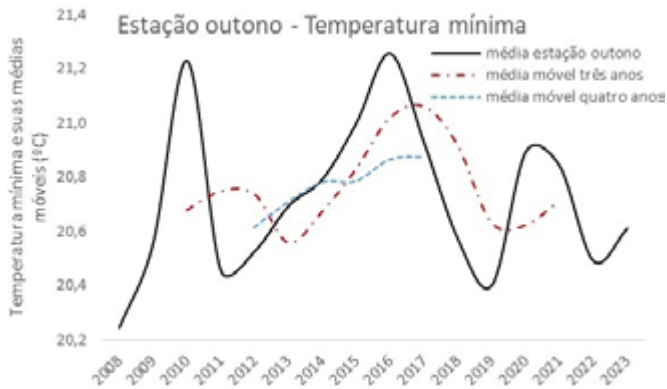
Estudar as oscilações e variações na frequência e/ou intensidade das classes meteorológicas extremas, são dados úteis no argumento do desenvolvimento sustentável, ajudando a entender as oscilações padrões e suas ocorrências e intensidades no clima presente e futuro (Afuecheta e Omar, 2021).

Os acréscimos térmicos vêm a resultar em eventos extremos e em alterações dos regimes pluviais, com maiores ocorrências de secas e enchentes. Essa sequência de desequilíbrio natural do ecossistema pode originar o fenômeno da desertificação a partir do empobrecimento e degradação das terras nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas (Tavares et al., 2019).

A estação outono (Figura 4), registrou temperatura média mínima de 20,7°C e suas oscilações inter anos fluíram de 20,2 (2008) a 21,3°C (2016). Os anos de maiores elevações térmicas foram: 2010 (21,2°C); 2016 (21,6°C). As menores flutuações mínimas na estação outono registrou-se nos anos de 2008 (20,2°C); 2011 (20,4°C) e 2019 (20,4°C), para os demais anos registra-se distribuições e irregulares abaixo da média climatológica nos anos de 2008; 2009; 2011; 2012; 2013; 2018; 2019; 2020; 2022 e 2023. Os anos de 2010; 2014; 2015; 2016; 2017 e 2021, fluíram acima ou próximo a climatologia. A média móvel tem maiores possibilidades de serem repetidas em curto intervalo de tempo.

Segundo o IPCC (2007, 2014, 2022) estas flutuações térmicas são esperadas e estão dentro dos diagnósticos como previstos por diversos estudiosos das mudanças climáticas e dos ventos extremos.

Figura 4. As flutuações das temperaturas mínimas na estação outono, entre 2008 - 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



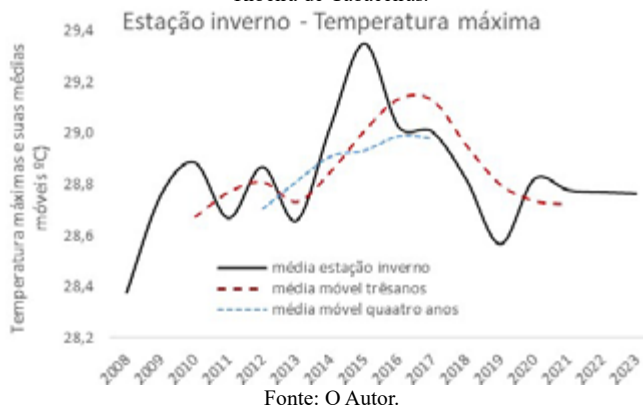
Fonte: O Autor.

Para os autores (New et al., 2006; Aguilar et al., 2009) os extremos climáticos vêm recebendo significativa atenção, já que divulgam com mais sensibilidade as mudanças climáticas do clima médio, têm impacto maiores e intensos no meio ambiente.

Os índices térmicos evidenciaram um aquecimento significativo durante o século XX, citando as flutuações elevadas para os dias atuais e para oscilações térmicas mínima.

As flutuações das temperaturas máximas na estação inverno (Figura 5), entre 2008 - 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras, registraram temperatura máxima acima da média histórica nos anos de 2009; 2010; 2012; 2014 a 2018 e 2020. Nos anos de 2008; 2011; 2013; 2019. A temperatura máxima de inverno foi de 28,8°C, e suas oscilações inter anos fluíram de 28,4°C (2008) a 29,4°C (2015). Salienta-se que a possibilidade de curto intervalo de tempo de ocorrência da média móvel e para os próximos três anos. Chama-se a atenção da persistência da temperatura máxima de 28,8°C registrada em seis anos.

Figura 5. As flutuações das temperaturas máximas na estação inverno, entre 2008 - 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Com índices térmicos mínimos, superiores ou próximo a média climatológica em suas maiorias dos anos estudos, entre 2021 a 2023 a temperatura foi estabilizada marcando 18,6°C, (Figura 6), nos assegura que as manhãs e madrugadas estão mais quentes, (Marengo, 2009; Marengo et al., 2019; IPCC 2014; IPCC 2021; Medeiros et al., 2022).

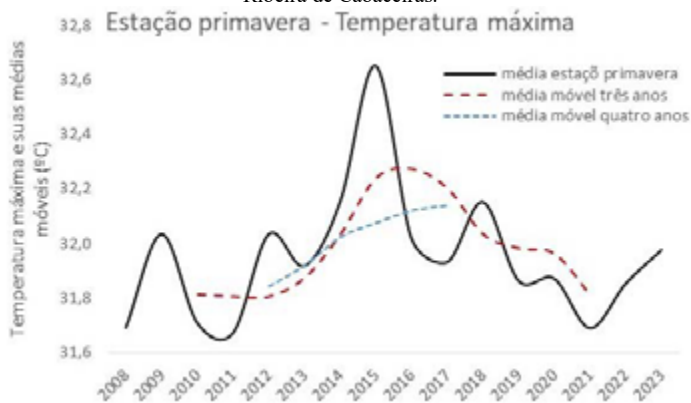
Figura 6. As flutuações das temperaturas mínimas na estação inverno, entre 2008 - 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

A flutuação térmica máxima histórica, na estação primavera, é de 32,0°C a temperatura anual, suas flutuações inter anos oscilaram de 31,6°C (2011) a 32,6°C (2015), (Figura 7). Destaca-se os anos onde as temperaturas máximas fluíram abaixo da normal, 2008; 2010; 2011; 2013; 2017; 2019 a 2023. Nos anos de 2009; 2012; 2014; 2016; 2018 e 2019, registraram temperatura máxima, próximo e superiores à média histórica. Estas oscilações decorrerem da intensidade do vento acima do normal, redução de focos de queimadas, alta cobertura de nuvens, e redução da insolação e radiação compreendido entre os horários das 11:00 as 16:00 hs. Estes resultados vêm a corroborar com as discussões do IPCC (2014, 2022) e Medeiros et al. (2022).

Figura 7. As flutuações das temperaturas máximas na estação primavera, entre 2008 - 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

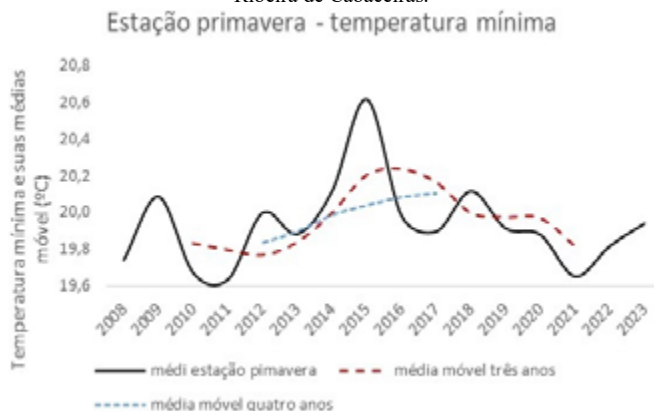


Fonte: O Autor.

A estação primavera, registra flutuação térmica mínima (Figura 8), fluindo de 19,6°C (2011) a 20,6°C (2015), com média de 19,9°C na estação, destaca-se os anos 2008; 2011; 2021 e 2022, com índices térmicos mínimos abaixo da média histórica, os anos 2013; 2017 e 2020 com valores térmicos iguais a média histórica. Os anos 2009; 2010; 2012; 2014; 2015; 2016; 2018; 2019 e 2023, registram temperaturas acima da média histórica. Sabe-se que as oscilações térmicas mínimas, vem registrando acréscimos relativos inter anos, conforme estabelecem os IPCC (2014), IPCC (2022), IPCC (2023), Marengo et al. (2016) e França et al. (2020).

A média móvel de três anos, tem maior tendência a contribuir com os índices térmicos futuramente.

Figura 8. As flutuações das temperaturas mínimas na estação primavera, entre 2008 - 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Observa-se por meio da tabela 1, os coeficientes de correlação (R^2), que houve tendência de redução nos valores térmicos seguindo uma linearidade no verão, outono e primavera e no inverno registrou-se acréscimo térmico, no elemento temperatura máxima. Destaca-se a estação primavera que registrou tendência de decréscimo relevante nos índices térmicos máximos.

As variabilidades nos coeficientes de correlação (R^2), para os índices térmicos mínimos registra tendencias de reduções nas estações verão, inverno e primavera, já na estação outono registra tendencia relevante de redução térmica.

Tabela 1. Coeficientes de correlação (R^2) da Temperatura máxima e mínima do ar (°C), nas estações do ano.

Estação do Ano	Temperatura Máxima (R^2)	Temperatura Mínima (R^2)
Verão	0,0140	0,0113
Outono	0,0131	0,0070
Inverno	0,0199	0,0048
Primavera	0,0039	0,0050

Fonte: O Autor.

CONCLUSÕES

As temperaturas máximas e mínimas apresentaram expressivas oscilações intermensais ao longo da série histórica analisada, refletindo a influência de fatores geográficos como latitude e altitude, que atuam de forma oposta na dinâmica térmica local.

A análise sazonal revelou que, embora todas as estações tenham registrado variações de aumento e redução térmica, as maiores oscilações nas temperaturas mínimas ocorreram durante o verão, o outono e a primavera, evidenciando maior instabilidade térmica nesses períodos.

Os coeficientes de determinação (R^2) indicaram maior consistência nas tendências de variação térmica nas estações de inverno e primavera, enquanto verão e outono apresentaram menor correlação, sugerindo maior variabilidade e menor previsibilidade nessas estações.

REFERÊNCIAS

AFUECHETA, E. M.; OMAR, M. H. Characterization of variability and trends in daily precipitation and temperature extremes in the Horn of Africa, **Climate Risk Management**, v. 32, 2021.

AGUILAR, E.; AZIZ BARRY, A.; BRUNET, M.; FERNANDES, A.; MASSOUKINA, M.; MBAH, J.; MHANDA, A.; DO NASCIMENTO, D. J.; PETERSON, T. C.; THAMBA UMBA, O.; TOMOU, M.; ZHANG, X. Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe 1955–2006. **Journal of Geophysical Research**, 114. 2009.

AMORIM, R. C. F.; AMORIM, D. K. F.; LEITE, C. C.; GOMES, H. B. Análise climática para a cidade de Curitiba/PR. In: **congresso Brasileiro de Meteorologia**, 13, Fortaleza, Anais...Fortaleza, 2004.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. (15ª edição). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2001.

BOX, G. Box and Jenkins: Time Series Analysis, Forecasting and Control. In: **A Very British Affair**. Palgrave Advanced Texts in Econometrics. Palgrave Macmillan, London. 2013.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática do sorgo como suporte alimentar a avicultura de São Bento Una-Pernambuco, Brasil. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 4, p. 275-283, 2020.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; FRANÇA, M. V. Variações térmicas médias nas estações do ano em Bom Jesus do Piauí, Brasil. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v. 16, n. 1, p. 68-80, 2022.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for policymakers In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA) ed C B Field et al. (Cambridge University Press) pp 1–32. 2014.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers, in **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. edited by M. 2007.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, MASSON-DELMOTTE, V.; P. ZHAI, A.; PIRANI, S. L.; CONNORS, C.; PÉAN, S.; BERGER, N.; CAUD, Y.; CHEN, L.; GOLDFARB, M. I.; GOMIS, M.; HUANG, K.; LEITZELL, E.; LONNOY, J.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

B. R.; MATTHEWS, T. K.; MAYCOCK, T.; WATERFIELD, O.; YELEKÇİ, R.; YU, B.; (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, p.3–32. 2021.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, H. O. PÖRTNER, D. C.; ROBERTS, E. S.; POLOCZANSKA, K.; MINTENBECK, M.; TIGNOR, A.; ALEGRÍA, M.; CRAIG, S.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, V.; MÖLLER, A. OKEM (eds.). Cambridge University Press. 2022.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. In: **FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (FBDS)**. Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. Rio de Janeiro: FBDS, 2009. v. 24.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960 - 2002. **International Journal of Climatology**. v.28, p.893-904. 2008.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; CUARTAS, L. A.; DEUSDARÁ LEAL, K. R.; BROEDEL, E.; SELUCHI, M. E.; MICHELIN, C. M.; DE PRAGA BAIÃO, C. F.; CHUCHÓN ÂNGULO, E.; ALMEIDA, E. K.; KAZMIERCZAK, M. L.; MATEUS, N. P. A.; SILVA, R. C.; BENDER, F. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: Characterization, Causes, and Impacts. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 1-20, 2021.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; SOARES, W. R.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M.; de BARROS BRITO, S. S.; CUARTAS, L. A.; LEAL, K.; RIBEIRO NETO, G.; ALVALÁ, R. C. S.; MAGALHAES, A. R. Increase Risk of Drought in the Semiarid Lands of Northeast Brazil Due to Regional Warming above 4 °C. Climate Change Risks in Brazil. 1ed.: **Springer International Publishing**, v. , p. 181-200. 2019.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in northeast Brazil-past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3-4: p. 1189-1200, 2016.

MEDEIROS, R. M.; FRANÇA, M. V.; SABOYA, L. M. F.; HOLANDA, R. M.; WAGNER, R. B.; BRAGA, S. E. Balanço hídrico e seus comparativos com 1996-2005, 2006-2015 em relação a 2015 no município de São Bento do Una - PE. **E-Acadêmica**, 3, e7532226. 2022.

MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; VIANA, M. A.; SILVA, V. P. CLIMATE CLASSIFICATION IN KÖPPEN MODEL FOR THE STATE OF PERNAMBUCO - BRAZIL. **REVISTA DE GEOGRAFIA (RECIFE)**, v. 35, p. 219-234, 2018.

MEDEIROS, R. M.; MATOS, R. M.; SABOYA, L. M. F. Oscilações Pluviométricas e da Temperatura Média do Ar em Seis Regiões Homogêneas do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física** V. 08 N. 03. 327-340. 2015.

MEDEIROS, R. M.; CAVALCANTI, E. P. Tendência climática das temperaturas do ar no município de Bom Jesus do Piauí, Brasil. **Research, Society and Development**. 9(7):1-23, e315973882. 2020.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

NEW, M.; HEWITSON, B.; STEPHENSON, D. B.; TSIGA, A.; KRÜGER, A.; MANHIQUE, A.; GOMEZ, B.; COELHO, C. A. S.; MASISI, D. N.; KULULANGA, E.; MBAMBALALA, E.; ADESINA, F.; SALEH, H.; KANYANGA, J.; ADOSI, J.; BULANE, L.; FORTUNATA, L.; MDOKA, M. L.; LAJOIE, R. Evidence of trends in daily climate extremes over Southern and West Africa. **Journal Geophysical Research**, 111, p. D14102, 2006.

TAVARES, V. C.; ARRUDA, Í. R. P.; SILVA, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Revista Geosul**, Florianópolis, v. 34, n. 70, p. 385-406, 2019.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFRRPE. 2026.

Capítulo 16 - POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS E SUAS FLUTUAÇÕES ANÔMALAS E DE TENDÊNCIAS TÉRMICAS MÁXIMAS NAS ESTAÇÕES DO ANO

Raimundo Mainar de Medeiros

Romildo Morant de Holanda

Moacyr Cunha Filho

Salatiel Ewen Braga

Kyriale Vasconcelos Morant Cavalcanti

RESUMO

As flutuações anômalas e as tendências térmicas evidenciam a necessidade de compreender as oscilações do clima em escalas regional e local, contribuindo para o planejamento e o monitoramento de ações futuras. Este estudo teve como objetivo analisar as flutuações anômalas e as tendências da temperatura máxima do ar no período de 2008 a 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras – PB, com ênfase nas variações sazonais. Os dados térmicos foram estimados por meio do software Estima-T. O cálculo das anomalias e tendências térmicas máximas foi realizado para cada estação do ano: verão (dezembro, janeiro, fevereiro), outono (março, abril, maio), inverno (junho, julho, agosto) e primavera (setembro, outubro, novembro). Destaca-se que as variações térmicas entre as estações podem gerar anomalias associadas a diversos fatores naturais, como ondas de calor, aumento da sensação térmica, intensificação da evapotranspiração e redução da umidade relativa. Em relação às tendências, a primavera apresentou o menor acréscimo térmico, conforme indicado pela reta de tendência. O outono e o inverno registraram as menores temperaturas médias interanuais, enquanto as maiores oscilações térmicas ocorreram no verão e no inverno.

Palavras-chave: Sensação térmica, Estações sazonais, Evapotranspiração, Umidade relativa, Ondas de calor.

ANOMALOUS AND TRENDING MAXIMUM THERMAL FLUCTUATIONS IN THE SEASONS OF THE VILLAGE OF RIBEIRA DE CABACEIRAS

ABSTRACT

Anomalous fluctuations and thermal trends highlight the need to understand climate variations on regional and local scales, contributing to planning and monitoring future actions. This study aimed to analyze anomalous fluctuations and trends in maximum air temperature from 2008 to 2023 in the Village of Ribeira de Cabaceiras – PB, with an emphasis on seasonal variations. Thermal data were estimated using the Estima-T software. The calculation of thermal anomalies and maximum temperature trends was performed for each season: summer (December, January, February), autumn (March, April, May), winter (June, July, August), and spring (September, October, November). It is important to note that thermal variations among seasons can lead to anomalies associated with various natural factors, such as heatwaves, increased thermal sensation, intensified evapotranspiration, and decreased relative humidity. Regarding trends, spring showed the smallest thermal increase, as indicated by the trend line. Autumn and winter recorded the lowest interannual average temperatures, while the greatest thermal oscillations occurred in summer and winter.

Keywords: Thermal sensation, Seasonal cycles, Evapotranspiration, Relative humidity, Heatwaves.

INTRODUÇÃO

Sleiman e Silva (2008) demonstraram que o clima é composto por um conjunto de elementos interligados que condicionam a existência da vida. Sua configuração pode influenciar diretamente a fixação humana e o desenvolvimento de atividades nas diferentes regiões do planeta.

As anomalias climáticas registradas na climatologia são episódios que se afastam dos valores médios, tanto para mais quanto para menos, afetando variáveis como temperatura e precipitação. Essas anomalias podem ocasionar eventos extremos, como enchentes ou prolongados períodos de estiagem (Pereira et al., 2020). Resultados semelhantes são discutidos em publicações do IPCC (2022, 2023) e em Holanda e Silva (2018).

Segundo estudos do IPCC (2013, 2022, 2023) e Assad e Pinto (2008), tanto no Brasil quanto globalmente, as mudanças climáticas, especialmente o aquecimento global, vêm impactando a segurança alimentar e ampliando as áreas de risco climático.

Atividades abióticas apresentam respostas térmicas distintas em ambientes urbanos e rurais, principalmente devido ao fenômeno das ilhas de calor nos centros urbanos (Rocha et al., 2011). Desde a década de 1950, há um aumento nas temperaturas extremas, tanto em frequência quanto em intensidade, cobrindo áreas mais extensas com tendências positivas do que negativas (Collins et al., 2009; Reguero et al., 2019).

A elevação das ocorrências de episódios de calor extremo está fortemente relacionada às mudanças climáticas globais (Trenberth et al., 2007; Marengo e Camargo, 2007). O relatório do IPCC (2023) destaca que o aquecimento global é, em sua maioria, causado por ações humanas, com estimativas de aumento médio de 1,1°C, impactando significativamente os padrões climáticos em todo o planeta. Espera-se que essas oscilações térmicas ampliem ainda mais a intensidade e magnitude das mudanças climáticas.

Conforme o IPCC (2022), os impactos dessas mudanças são adversos e, em alguns casos, irreversíveis, afetando ecossistemas, populações humanas, assentamentos e infraestrutura. A segurança alimentar e hídrica tem sido reduzida, e a saúde física e mental das populações vem sendo comprometida. Eventos extremos de calor resultaram em mortalidade e morbidade, enquanto doenças de origem hídrica e alimentar, além de zoonoses, têm surgido com maior frequência em novas regiões. Temperaturas elevadas e inundações também estão associadas a um aumento de enfermidades como diarreia, cólera e infecções gastrointestinais. Em áreas urbanas, os impactos atingem a saúde, a infraestrutura e os meios de subsistência.

O IPCC (2021) afirma de forma inequívoca que a influência humana é a principal responsável pelo aquecimento da atmosfera, dos oceanos e da superfície terrestre. Desde 1750, o aumento das concentrações de gases de efeito estufa está diretamente relacionado às atividades humanas, gerando mudanças rápidas e generalizadas nos sistemas climáticos.

As projeções indicam, entre outras consequências: aumento da temperatura global entre 1,5°C e 2°C até 2050; riscos severos à saúde humana e à produção agrícola caso o limite de 2°C seja atingido; intensificação de secas relacionadas à variação térmica; aumento das temperaturas nas regiões Norte, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil e em

partes da América do Sul; aquecimento mais acentuado no Ártico, estimado em até três vezes o valor previsto anteriormente; intensificação de eventos extremos, como ciclones tropicais intensos e chuvas torrenciais.

Alvares et al. (2013) apontam que o Brasil, devido à sua dimensão continental, apresenta grandes oscilações climáticas, com temperaturas médias anuais variando entre 12°C e mais de 26°C. Segundo Brekke et al. (2009) e Raucher (2011), observações em escala local e regional são mais úteis para o planejamento e projeções climáticas do que modelos globais generalizados.

O planeta tem experimentado mudanças aceleradas por ações antrópicas, com destaque para o agravamento do efeito estufa, que tem causado desequilíbrios climáticos significativos. As atividades humanas têm contribuído para o acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera, promovendo o aumento da temperatura da superfície terrestre em escala global (Palmer et al., 2019).

Marengo et al. (2008), ao analisarem as tendências térmicas na Região Sul do Brasil entre 1960 e 2002, observaram que, na maioria das estações, houve maior aumento na temperatura mínima do que na máxima.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar e compreender as flutuações anômalas e as tendências da temperatura máxima do ar entre 2008 e 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras, destacando suas variações entre as estações do ano.

METODOLOGIA

Os dados de temperatura máxima foram obtidos por meio do software Estima-T, conforme descrito em Cavalcanti e Silva (1994) e Cavalcanti et al. (2006), abrangendo o período de 2008 a 2023.

A análise das anomalias e tendências térmicas máximas foi realizada considerando as estações do ano, definidas da seguinte forma:

$$ATx = (\text{Temp máx reg} - \text{Temp máx clima})$$

ATx: Anomalia das Temperaturas máxima;

Temp máx reg: temperatura máxima registrada;

Temp máx clima: temperatura máxima climatológica.

As tendências das temperaturas máximas foram determinadas com o uso de planilhas eletrônicas, empregando funções estatísticas e gráficas específicas para a identificação de padrões ao longo das estações analisadas.

RESULTADO E DISCUSSÃO

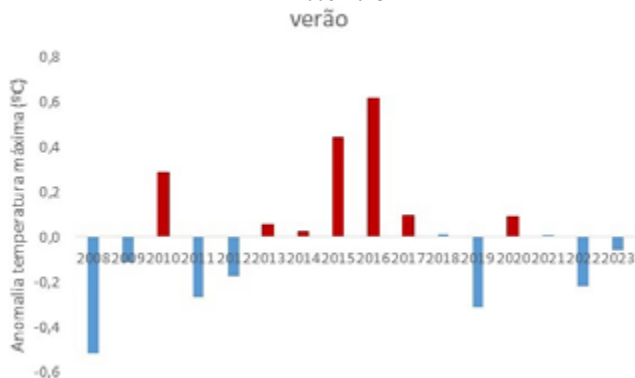
O estudo da climatologia local e regional se caracteriza como fundamental para a diferenciação ou comparação entre áreas. Seja pela análise do clima ou de seus elementos constituintes, a climatologia regional permite compreender a variabilidade espaço-climática e a forma como os elementos se distribuem e se organizam em determinada porção do espaço.

Marengo et al. (2016) afirmam que eventos extremos de curta duração vêm despertando crescente interesse entre os pesquisadores da climatologia, devido aos modelos climáticos indicarem, em certos contextos, aumento na frequência e intensidade desses fenômenos.

Na última década, os estudos sobre mudanças climáticas vêm ganhando destaque em diferentes regiões do globo. Permanece, portanto, a necessidade de compreender as oscilações de tendências e anomalias do clima em escalas regional e local, com o objetivo de subsidiar ações futuras de planejamento e monitoramento.

A estação verão (Figura 1) registrou anomalias positivas com variabilidades irregulares em nove anos, variando de 0,02 °C a 0,61 °C. Já as anomalias negativas ocorreram em sete anos. As anomalias máximas positivas podem estar associadas a sistemas sinóticos transitentes, oscilações regionais e locais, focos de incêndios, intensidade de radiação, insolação e características orográficas. Tais interpretações encontram respaldo em França e Medeiros (2022), Medeiros et al. (2022), IPCC (2014) e IPCC (2023).

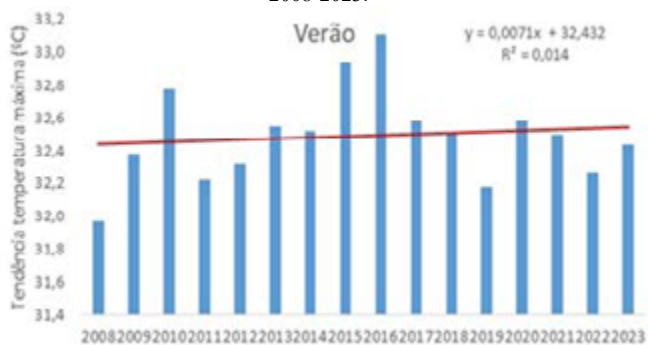
Figura 1. Anomalia da temperatura máxima na estação do ano verão, no Povoado Ribeira de Cabaceiras entre 2008-2023.



Fonte: O Autor.

A variabilidade das tendências térmicas máximas no verão, em Ribeira de Cabaceiras (Figura 2), entre 2008 e 2023, apresenta média histórica de 32,5 °C, com oscilações interanuais entre 31,9 °C (2008) e 33,2 °C (2016). Os anos de 2008, 2009, 2011, 2012, 2019, 2022 e 2023 apresentaram médias inferiores à histórica, enquanto os anos de 2018 e 2021 coincidiram com a média histórica. Os demais anos registraram valores superiores.

Figura 2. Tendência da temperatura máxima na estação do ano verão, em Ribeira de Cabaceiras entre 2008-2023.

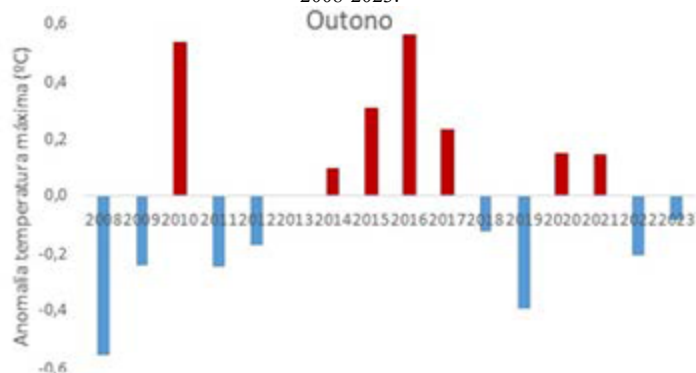


Fonte: O Autor.

A irregularidade térmica observada no verão pode estar relacionada a queimadas de pequena e média escala, variações na cobertura de nuvens, além de insolação e radiação. Resultados semelhantes são discutidos em Marengo et al. (2019), IPCC (2021) e IPCC (2023). A frequência das anomalias térmicas pode impactar diretamente a comunidade local, exigindo adaptações baseadas em indicadores socioeconômicos regionais. Além disso, a percepção pública e as ações governamentais são influenciadas pela ocorrência desses eventos.

A análise da estação outono (Figura 3) mostra predominância de anomalias negativas em relação às positivas, indicando temperaturas mais amenas que a média histórica no período estudado. O IPCC (2001) destaca que a agricultura familiar e de subsistência, carente de tecnologia e recursos, é particularmente vulnerável a essas instabilidades térmicas.

Figura 3. Anomalia da temperatura máxima na estação do ano outono, em Ribeira de Cabaceiras entre 2008-2023.

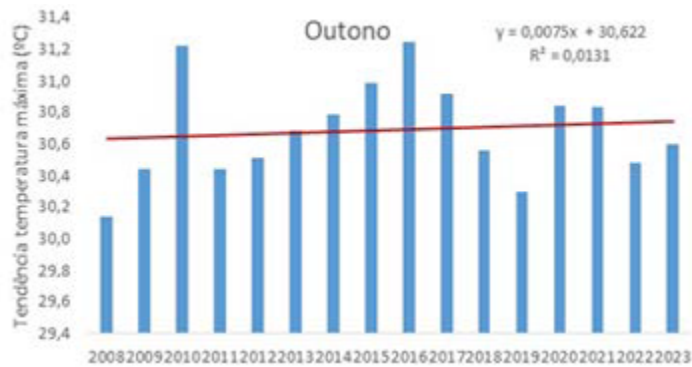


Fonte: O Autor.

Estudos realizados no sul da América do Sul indicam modificações na frequência e intensidade de eventos meteorológicos extremos (Donat et al., 2013; Olmo et al., 2020). Tais informações são cruciais para o planejamento e monitoramento regional, visando minimizar impactos de desastres naturais.

No outono, observa-se um comportamento térmico mais regular, com temperaturas inferiores às do verão. Na Figura 4, há uma tendência de elevação térmica, com flutuações entre 30,2 °C e 31,2 °C. Esses achados estão alinhados aos estudos de Cunha Filho et al. (2024), Marengo et al. (2023) e IPCC (2022).

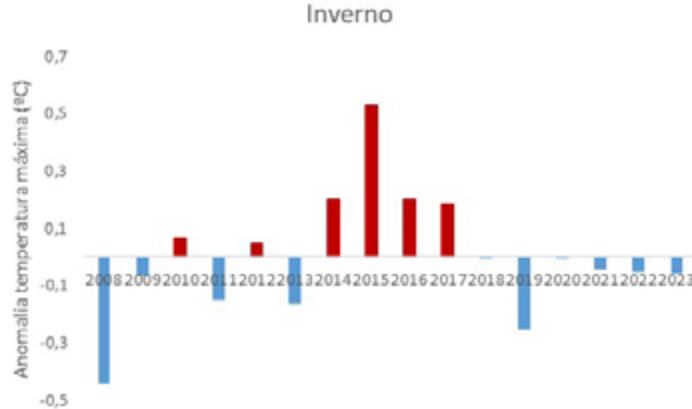
Figura 4. Tendência da temperatura máxima na estação do ano outono, em Ribeira de Cabaceiras entre 2008-2023.



Fonte: O Autor.

As anomalias da temperatura máxima no inverno (Figura 5) apresentaram dez anos com anomalias negativas, variando de 0,001 °C a 0,46 °C. As anomalias positivas ocorreram em seis anos, com variações entre 0,05 °C e 0,5 °C. Essas oscilações estão associadas a fatores de meso e microescala regional e local, sistemas de bloqueios atmosféricos e atividades bióticas e abióticas. Resultados semelhantes são reportados por Cunha Filho et al. (2024), Marengo et al. (2023) e IPCC (2022).

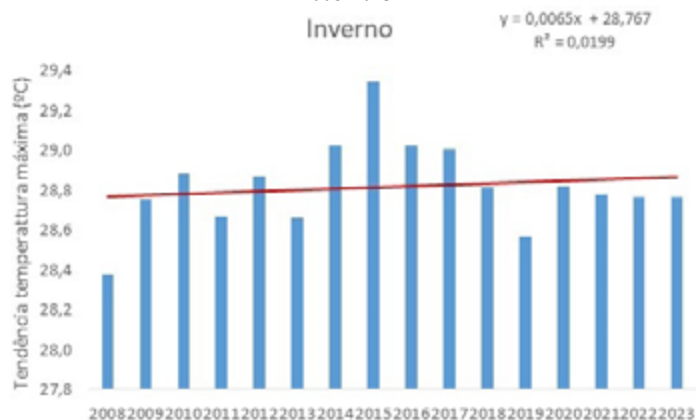
Figura 5. Anomalia da temperatura máxima na estação do ano inverno, em Ribeira de Cabaceiras entre 2008-2023.



Fonte: O Autor.

As temperaturas máximas na primavera oscilaram entre 28,4 °C (2008) e 29,4 °C (2015), conforme mostrado na Figura 6. A tendência aponta para um acréscimo térmico nos próximos anos, influenciado por fatores como desmatamento, ausência de cobertura vegetal, queimadas, radiação solar e insolação, além de impactos ambientais e socioeconômicos diversos. Essas observações estão de acordo com os estudos do IPCC (2023) e Cunha Filho et al. (2024).

Figura 6. Tendência da temperatura máxima na estação do ano inverno, em Ribeira de Cabaceiras entre 2008-2023.

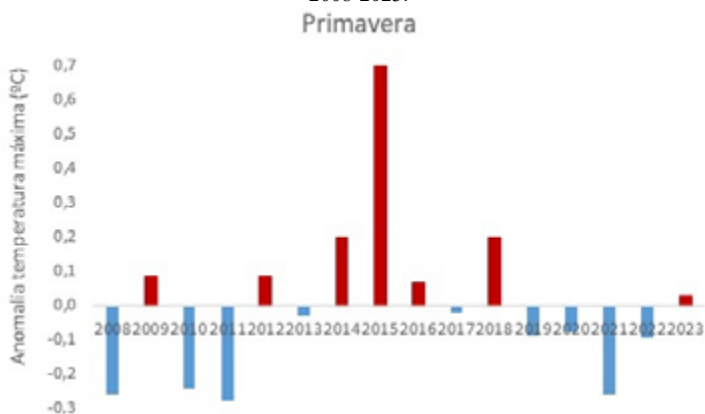


Fonte: O Autor.

A Figura 7 ilustra as anomalias da temperatura máxima na primavera em Ribeira de Cabaceiras (2008–2023). Foram registrados sete anos com anomalias positivas (0,05 °C a 0,7 °C) e nove anos com anomalias negativas (0,012 °C a 0,28 °C). Esses padrões também podem ser influenciados por sistemas sinóticos transientes, condições locais e regionais, incêndios e características orográficas.

as anomalias máximas, que podem terem recebidos auxílios dos sistemas sinóticos transientes, seguidamente das oscilações regional e local, de focos de incêndios, radiação, insolação, da orografia. As discussões que corroboram com os resultados, são revisto em França e Medeiros (2022); Medeiros et al. (2022); IPCC (2014) e IPCC (2023).

Figura 7. Anomalia da temperatura máxima na estação do ano primavera, em Ribeira de Cabaceiras entre 2008-2023.

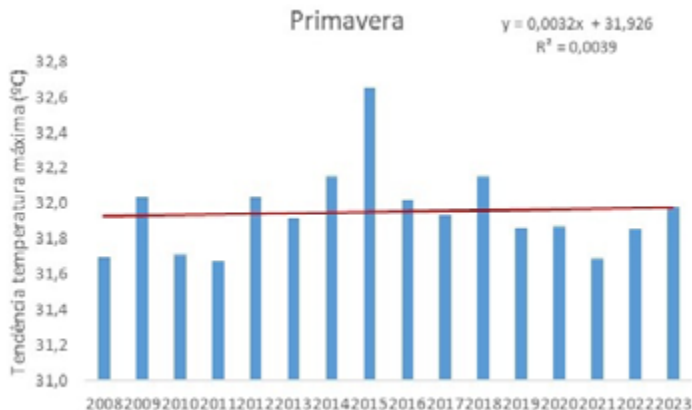


Fonte: O Autor.

A temperatura é uma variável fundamental para a compreensão de processos atmosféricos urbanos, como ilhas de calor, geração de ventos e concentração de poluentes (Oke et al., 2017).

A tendência térmica da primavera (Figura 8) demonstra leve inclinação positiva, com baixo coeficiente de determinação (R^2), indicando incerteza sobre a continuidade do aumento. Os menores índices térmicos foram registrados em 2008, 2010, 2011 e 2022; os maiores, em 2014, 2015 e 2018. Esses resultados são corroborados por França e Medeiros (2022), Medeiros et al. (2022) e IPCC (2022).

Figura 8. Tendência da temperatura máxima na estação do ano primavera, em Ribeira de Cabaceiras entre 2008-2023.



Fonte: O Autor.

CONCLUSÃO

As análises realizadas evidenciam que as flutuações térmicas máximas no Povoado Ribeira de Cabaceiras, entre 2008 e 2023, apresentam comportamentos distintos entre as estações do ano, refletindo a influência de fatores naturais e antrópicos no regime térmico local. As anomalias observadas podem estar relacionadas a ondas de calor, aumento da sensação térmica, intensificação da evapotranspiração, redução da umidade relativa e outros processos atmosféricos e ambientais.

As estações de verão e inverno destacaram-se por apresentarem maiores oscilações térmicas, indicando maior instabilidade climática nesse período. Em contraste, outono e inverno registraram as menores médias térmicas interanuais, sugerindo padrões mais amenos em relação às demais estações.

No que se refere às tendências térmicas, a primavera apresentou o menor acréscimo de temperatura máxima, conforme indicado pela leve inclinação de sua reta de tendência. Essa característica pode estar relacionada à menor influência de extremos térmicos ou a fatores reguladores locais, como cobertura vegetal ou dinâmica atmosférica sazonal.

Diante dos resultados, reforça-se a importância do monitoramento contínuo das variáveis climáticas em escalas locais e regionais, especialmente em áreas vulneráveis como o semiárido paraibano, a fim de subsidiar estratégias de adaptação, planejamento ambiental e mitigação de impactos decorrentes das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, p. 711 728. 2013.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. **EMBRAPA-CEPAGRI**, São Paulo, agosto, p82, 2008.

BREKKE, L. D.; KANG, J. E.; OLSEN, J. R.; PULWARTY, R. S.; RAFF, D. A.; TURNIPSEED, D. P.; WEBB, R. S.; WHITE, K. D. Climate Change and Water Resources Management: A Federal Perspective. **US Geological Survey Circular**, 2009.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, E. D. V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8, 1994. Belo Horizonte, **Anais...Belo Horizonte: SBMET**, 1, p.154-157. 1994.

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**, 10. p.140-147. 2006.

COLLINS, J.; CHAVES, R.; MARQUES, V. Temperature Variability over South America. **Journal of Climate**, 22, 2009.

CUNHA FILHO, M.; FRANÇA, M. V.; LAGES, M. G. M. O.; HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M. **Oscilações e variabilidades climáticas no Povoado Ribeira de Cabaceiras/Paraíba**, 1ª Edição. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Editora Universitária. 2024.

DONAT, M. G.; ALEXANDER, L. V.; YANG, H.; DURRE, I.; VOSE, R.; CAESAR, J. Global Land-Based Datasets for Monitoring Climatic Extremes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 94, n.7, p. 997-1006. 2013.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática do sorgo como suporte alimentar a avicultura de São Bento Una-Pernambuco, Brasil. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 4, p. 275-283, 2022.

HOLANDA, R. M.; SILVA, V. P. Temperatura média do ar e suas flutuações no Estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, n.2, v.1. 081-093, 2018.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part B: Regional Aspects. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for policymakers In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA) ed C B Field et al. (Cambridge University Press) pp 1–32. 2014.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, MASSON-DELMOTTE, V.; P. ZHAI, A.; PIRANI, S. L.; CONNORS, C.; PÉAN, S.; BERGER, N.; CAUD, Y.; CHEN, L.; GOLDFARB, M. I.; GOMIS, M.; HUANG, K.; LEITZELL, E.; LONNOY, J. B. R.; MATTHEWS, T. K.; MAYCOCK, T.; WATERFIELD, O.; YELEKÇI, R.; YU, B.; (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, p.3–32. 2021.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, H. O. PÖRTNER, D. C.; ROBERTS, E. S.; POLOCZANSKA, K.; MINTENBECK, M.; TIGNOR, A.; ALEGRÍA, M.; CRAIG, S.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, V.; MÖLLER, A. OKEM (eds.). Cambridge University Press. 2022.

MARENGO, J. A.; ALCANTARA, E.; CUNHA, A. P.; SELUCHI, M.; NOBRE, C. A.; DOLIF, G.; GONCALVES, D.; ASSIS DIAS, M.; CUARTAS, L. A.; BENDER, F.; RAMOS, A. M.; MANTOVANI, J.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

- R.; ALVALÁ, R. C.; MORAES, O. L. Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25-28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. **Weather and Climate Extremes**, v. 39, p. 100545, 2023.
- MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. G. Trends in Extreme air temperatures in Southern Brazil, **International Journal Climatology**, v.28, p. 893-904. 2007.
- MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960 - 2002. **International Journal of Climatology**. v.28, p.893-904. 2008.
- MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; SOARES, W. R.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M.; de BARROS BRITO, S. S.; CUARTAS, L. A.; LEAL, K.; RIBEIRO NETO, G.; ALVALÁ, R. C. S.; MAGALHAES, A. R. Increase Risk of Drought in the Semiarid Lands of Northeast Brazil Due to Regional Warming above 4 °C. Climate Change Risks in Brazil. 1ed.: **Springer International Publishing**, v. , p. 181-200. 2019.
- MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in northeast Brazil-past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3-4: p. 1189-1200, 2016.
- MEDEIROS, R. M.; FRANÇA, M. V.; SABOYA, L. M. F.; HOLANDA, R. M.; WAGNER, R. B.; BRAGA, S. E. Balanço hídrico e seus comparativos com 1996-2005, 2006-2015 em relação a 2015 no município de São Bento do Una - PE. **E-Acadêmica**, 3, e7532226. 2022.
- OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. Urban Climates. **Cambridge University Press**, ed. 1, 2017.
- OLMO, M.; BETTOLLI, M. L.; RUSTICUCCI, M. Atmospheric circulation and precipitation individual and compound daily extreme events: Spatial variability and trends over southern South America, **Weather and Climate Extremes**, v. 29, 2020.
- PALMER, T.; STEVENS, B. The scientific challenge of understanding and estimating climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 116, n. 49, p. 24390-24395, 2019.
- PEREIRA, T. D.; SANTOS, B. C.; NEVES, G. Z. F. Variabilidade pluviométrica do Estado do Mato Grosso na série temporal de 1998 a 2017. **Revista Geonorte**, 11(37), 39–56. 2020.
- RAUCHER, R. S. The Future of Research on Climate Change Impacts on Water: A Workshop Focused on Adaption Strategies and Information Needs. **Water Research Foundation**. 2011.
- REGUERO, B.; LOSADA, I.; MÉNDEZ, F. A recent increase in global wave power as a consequence of oceanic warming. **Nature Communications**, 10. 2019.
- ROCHA, L. M. V.; SOUZA, L. C. L.; CASTILHO, F. J. V. Ocupação do solo e ilha de calor noturna em avenidas marginais a um córrego urbano. **Ambiente Construído**, 11(3), 161–175. 2011.
- SLEIMAN, J.; SILVA, M. E. S. **A climatologia de precipitação e a ocorrência de veranicos na porção noroeste do estado do Rio Grande do Sul**. SIMPGEO-SP, Rio Claro, 2008.
- TRENBERTH, K. E.; JONES, P. D.; AMBENJE, P.; BOJARIU, R.; EASTERLING, D.; KLEIN TANK, A.; PARKER, D.; RAHIMZADEH, F.; RENWICK, J. A.; RUSTICUCCI, M.; SODEN, B.; ZHAI, P. **Observations: Surface and Atmospheric Climate Change**. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M.; Marquis, K.B.; Averyt, M.; Tignor and H.L.; Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.
- HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

Capítulo 17 - POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS E SUAS ANÁLISES ESTATÍSTICA NA VARIÁVEL TEMPERATURA MÉDIA

Ana Karolina Peres de Melo Silva

Raimundo Mainar de Medeiros

Romildo Morant de Holanda

Liliane Guimarães Rocha

Wagner Rodolfo de Araújo

RESUMO

Este capítulo tem como objetivo analisar estatisticamente a temperatura média no Povoado Ribeira de Cabaceiras, com base em dados estimados pelo programa Estima-T, no período de 2010 a 2023. Para as análises estatísticas, foram calculados: mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose, além dos valores máximos e mínimos absolutos de temperatura. A tendência térmica foi representada por meio de gráficos elaborados em planilhas eletrônicas, com foco na realidade climática da região. O estudo busca fornecer subsídios relevantes para planejadores e formuladores de estratégias de adaptação e mitigação dos impactos climáticos, positivos ou negativos, sobre os setores agropecuário, hídrico e sobre o bem-estar da população local. As variações térmicas sazonais e interanuais observadas podem estar associadas tanto às mudanças entre as estações do ano quanto à atuação de sistemas atmosféricos de diferentes escalas, como sistemas sinóticos, efeitos locais, regionais, de meso e microescala, além da influência da orografia e da arborização. Destaca-se a necessidade de manejo ambiental na área de estudo, especialmente quanto à retirada de Algarobas, que vêm comprometendo o crescimento da vegetação nativa e rasteira, contribuindo para o aumento dos índices térmicos. Por fim, a análise do coeficiente de curtose revelou uma tendência de oscilação entre valores platocúrticos e leptocúrticos ao longo do período avaliado.

Palavras-chave: Curtose, Sistemas atmosféricos, Arborização, Estatística descritiva, Mitigação climática.

STATISTICAL ANALYSIS OF AVERAGE TEMPERATURE IN THE VILLAGE OF RIBEIRA DE CABACEIRAS

ABSTRACT

This chapter aims to statistically analyze the average temperature in the Village of Ribeira de Cabaceiras, based on data estimated by the Estima-T software for the period from 2010 to 2023. The statistical analyses included the calculation of median, standard deviation, coefficient of variation, skewness, kurtosis, and the absolute maximum and minimum temperature values. The thermal trend was represented through graphs developed in spreadsheet software, focusing on the region's climatic reality. The study seeks to provide relevant insights for planners and decision-makers developing strategies for climate impact adaptation and mitigation—both positive and negative—affecting the agricultural, water, and public well-being sectors. Seasonal and interannual thermal variations observed may be associated with both seasonal transitions and the influence of atmospheric systems at different scales, including synoptic systems, local and regional effects, as well as meso- and microscale phenomena, and the role of orography and

vegetation cover. Emphasis is placed on the need for environmental management in the study area, particularly regarding the removal of mesquite trees (algarobas), which have hindered the growth of native and low-lying vegetation, contributing to increased thermal indices. Finally, the kurtosis coefficient analysis revealed a tendency toward fluctuations between platykurtic and leptokurtic values throughout the evaluated period.

Keywords: Kurtosis, Atmospheric systems, Vegetation cover, Descriptive statistics, Climate mitigation.

INTRODUÇÃO

A estatística aplicada aos elementos meteorológicos e à climatologia proporciona importantes táticas para a compreensão, análise e estudo dos climas. Essa abordagem oferece diferentes recursos e subsidia a identificação de possíveis ocorrências. Diversos estudos utilizam técnicas estatísticas nas estimativas de dados climatológicos, que permitem avaliar a variabilidade, flutuação, eventos extremos, tendências climáticas, entre outras aplicações.

O clima é determinado pela interação entre elementos abióticos (como orografia, precipitação, temperatura, solo, umidade relativa, latitude, continentalidade/maritimidade e correntes marítimas) e bióticos, como a vegetação, moldando as características de uma determinada área.

As informações climáticas de uma região são essenciais para a formulação de estratégias que definam o manejo adequado dos recursos naturais, buscando o desenvolvimento sustentável e a implementação de práticas agropecuárias viáveis e seguras para os biomas locais (Sousa et al., 2010).

Lombardo (1985) apontou que fatores antropogênicos, como a urbanização e mudanças no uso do solo, influenciam diretamente a ocorrência de eventos extremos de temperatura. Esses fatores favorecem o surgimento das chamadas ilhas de calor, onde a intensidade térmica é mais elevada nas áreas centrais das cidades, devido ao adensamento de edificações, tráfego intenso, atividades industriais e pavimentação, diminuindo em direção às periferias.

De acordo com o relatório do IPCC (2023), o aquecimento global, impulsionado por atividades humanas, já representa um aumento médio de 1,1°C e vem provocando impactos significativos no clima do planeta. A tendência é que a elevação da temperatura amplifique a magnitude dessas mudanças.

Ainda segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007; 2014), há alta probabilidade de continuidade das tendências climáticas observadas no passado ao longo do século XXI.

Medeiros e Cavalcanti (2020) analisaram a variabilidade das temperaturas médias e seu comportamento espaço-temporal na Zona da Mata Pernambucana entre 1950 e 2017. Identificaram tendência de redução e um componente sazonal com periodicidade entre 0,7 e 1,4 meses. Os modelos de médias móveis para 5 e 10 anos apresentaram bom ajuste, com valores dentro do intervalo de confiança, apesar das incertezas do erro padrão e das possíveis alterações climáticas. No contexto agrícola, riscos como o aumento da evapotranspiração e a necessidade de irrigação se tornam mais frequentes. A altitude e a latitude foram apontadas como as variáveis fisiográficas com maior influência sobre a temperatura média.

Cunha Filho et al. (2024) demonstraram que o monitoramento das mudanças e estimativas de acréscimos nas chuvas e na temperatura média em intervalos quinquenais,

bem como suas tendências e anomalias, é crucial para o Povoado Ribeira de Cabaceiras. Segundo os autores, essas informações são determinantes para a agricultura e o conforto ambiental. O acompanhamento das condições climáticas locais auxilia gestores no planejamento agropecuário e na gestão dos recursos hídricos, ao permitir a identificação de alterações com potencial impacto nos sistemas produtivos e no bem-estar da população.

Eventos extremos de temperatura, como períodos prolongados de calor ou frio, podem gerar sérios impactos ambientais e sociais. Em várias regiões do mundo, análises de temperatura já demonstram mudanças importantes. A temperatura média global da superfície aumentou cerca de 0,6°C ao longo do século XX, e muitas áreas apresentaram aquecimento significativo nos últimos 50 anos (Folland et al., 2001).

A curtose é um conceito estatístico que representa o grau de concentração dos valores em torno da média nas curvas de distribuição de frequência. A medida relaciona a dispersão na parte central e nas caudas da curva. Curvas platicúrticas possuem caudas finas ou espessas e indicam grande variabilidade entre diferentes populações. Já nas distribuições leptocúrticas, os valores térmicos estão mais concentrados na parte central da distribuição (Suguio, 1973).

A assimetria tem sido aplicada com êxito em estudos ambientais, permitindo distinguir contextos de deposição (assimetria positiva) e remoção seletiva (assimetria negativa), variando entre níveis muito positivos e negativos (Duane, 1964).

Este capítulo tem como objetivo analisar estatisticamente e identificar as tendências da temperatura média no Povoado Ribeira de Cabaceiras, com base em dados estimados pelo programa Estima-T, no período de 2010 a 2023.

METODOLOGIA

Foram realizadas análises estatísticas dos dados de temperatura média com base nos seguintes parâmetros: mediana (Md), desvio padrão (Dp), coeficiente de variação (Cv), coeficiente de assimetria (Cas) e coeficiente de curtose (Ck), além da identificação dos valores máximos e mínimos absolutos de temperatura (Banzatto e Konka, 2006; Gomes, 1985).

Realizou-se a média expresso na seguinte equação 1. (Triola, 2005).

$$X = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n / n = \sum_{i=1}^n x_i / n \quad (\text{Eq. 1})$$

A mediana (Md) calculada pela Equação 2. (Triola, 2005)

$$Md = n+1/2 \quad (\text{Eq. 2})$$

O desvio padrão (Dp) expressa pela Equação 3. (Bisquerria et al., 2004).

$$Dp = [(x_i - X)^2 \cdot f_i / \sum f_i - 1]^{1/2} \quad (\text{Eq. 3})$$

O coeficiente de variação (Cv) foi calculado pela Equação 4. (Bisquerria et al., 2004).

$$Cv = S/X \cdot 100(\%) \quad (\text{Eq. 4})$$

O coeficiente de assimetria (Cas) foi determinado segundo a Equação 5. (Bisquerria et al., 2004).

$$Cas = 1/n \sum (x_i - \bar{x})^3 / (S)^3 \quad (\text{Eq. 5})$$

O coeficiente de curtose (Ck) utilizando-se a equação 6 (Bisqueria et al., 2004).

$$Ck = 1/n \sum [(x_i - \bar{x})/S]^4 - 3 \quad (\text{Eq. 6})$$

Os dados mensais de temperatura média referem-se ao período de 2008 a 2023 para a área de estudo, sendo obtidos por meio do software Estima-T, desenvolvido por Cavalcanti e Silva (1994) e Cavalcanti et al. (2006).

RESULTADO E DISCUSSÃO

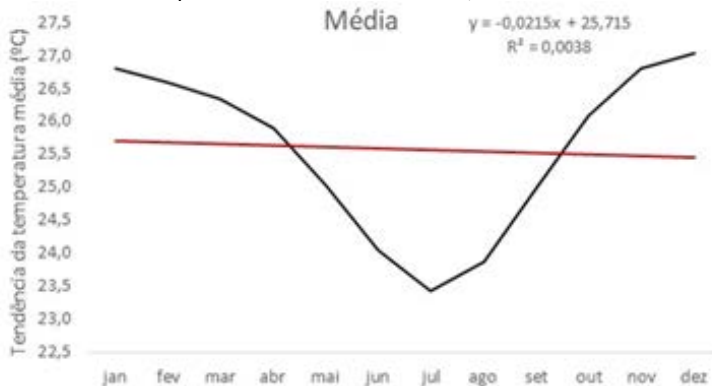
A estatística descritiva tem como objetivo sintetizar séries de valores de mesma natureza, permitindo uma visão global de suas variações e possibilitando a criação de modelos que favoreçam a integração de conhecimentos voltados para a pesquisa. Galvani (2011) destaca que o desvio padrão é fundamental para compreender o grau de dispersão dos valores em relação à média. Já o coeficiente de variação permite comparações relativas, expressando a variabilidade de cada conjunto de dados em relação à média.

Na Figura 1, observa-se a tendência da temperatura média entre 2008 e 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras, Paraíba. Há um pico mínimo em julho e máximo nos meses de novembro e dezembro. Entre agosto e janeiro, registra-se elevação das temperaturas, oscilando entre 24,2 °C e 26,9 °C; já entre fevereiro e julho, há redução térmica, com valores entre 26,5 °C e 23,5 °C.

Essas flutuações resultam da atuação de sistemas atmosféricos de meso e microescala, além das contribuições locais e regionais, tanto bióticas quanto abióticas. Entre os principais fatores estão queimadas, variações na insolação e radiação, além de outros aspectos ambientais. Resultados semelhantes foram observados por França e Medeiros (2022) e Medeiros et al. (2021).

Registra-se uma leve tendência de declínio térmico ao longo do período estudado, embora com um coeficiente de determinação (R^2) baixo. Essa tendência pode estar associada à menor variabilidade das temperaturas máximas em comparação com as mínimas. As análises de Marengo et al. (2019) e o relatório do IPCC (2023) corroboram essa interpretação.

Figura 1. Tendência da temperatura média entre 2008 – 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

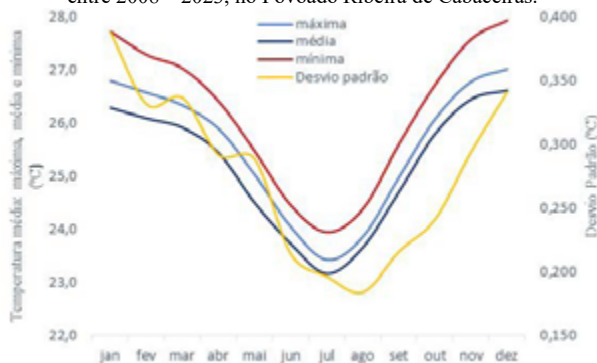


Fonte: O Autor.

Segundo Monteiro (1991), a climatologia considera que a atmosfera é composta por uma sequência de estados que, apesar de se sucederem habitualmente, estão sujeitos a desvios capazes de gerar eventos globais, regionais ou locais. Mesmo os mais graves ou catastróficos não devem ser excluídos da análise climática, considerando seus impactos e efeitos em cadeia.

Na Figura 2, observa-se que o desvio padrão térmico varia de 0,170 °C (agosto) a 0,380 °C (janeiro). Destaca-se a instabilidade entre fevereiro e maio, com oscilações acentuadas. Entre junho e agosto, os desvios são menores, enquanto de setembro a janeiro ocorrem as maiores variações, indicando momentos em que os valores se aproximam ou se afastam da média.

Figura 2. Oscilação da temperatura máxima média, média da média, mínima da média e desvio padrão entre 2008 – 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Silva et al. (2008) demonstraram que a diferenciação climática do Nordeste brasileiro é complexa, com predominância de climas quentes de baixas latitudes, onde as médias anuais superam os 18 °C. A análise considera tanto áreas secas quanto úmidas, especialmente no litoral leste da região. Sales e Ramos (2000) destacaram que, na Paraíba, as variações térmicas estão mais associadas à orografia local do que às variações latitudinais.

As oscilações térmicas e a mediana entre 2008 e 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras, estão representadas na Figura 3.

Figura 3. Oscilação da temperatura média e mediana entre 2008 – 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

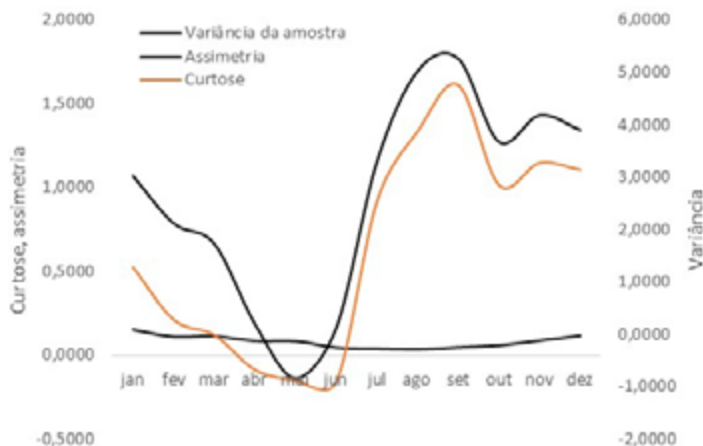


Fonte: O Autor.

Observa-se uma redução gradual da temperatura entre fevereiro (26,6 °C) e julho (23,9 °C), seguida de aumento entre agosto (24,1 °C) e dezembro (27,0 °C). O valor mínimo ocorre em julho e o máximo em dezembro. A mediana representa o valor térmico mais provável, com exceção dos meses de novembro a março.

Os coeficientes de variação, assimetria e curtose expressam a variabilidade térmica mensal e anual da área de estudo (Figura 4). O coeficiente de variação indica a possibilidade de os valores estarem distribuídos entre a média e o desvio padrão. A curva de assimetria apresenta prolongamento à esquerda, com aumento dos valores de maio a janeiro. Entre junho e setembro ocorrem os maiores valores de assimetria, enquanto entre outubro e dezembro são observadas oscilações reduzidas.

Figura 4. Oscilação térmica da variância, assimetria e curtose entre 2008 – 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

CONCLUSÃO

O estudo buscou fornecer informações e subsídios relevantes para planejadores e formuladores de estratégias voltadas à adaptação e/ou mitigação dos impactos, positivos ou negativos, das condições climáticas sobre os setores agropecuário, hídrico e sobre o bem-estar da população local.

As variações sazonais e interanuais da temperatura média podem estar associadas à influência das estações do ano (variação sazonal), bem como à atuação de sistemas atmosféricos com diferentes intensidades durante os períodos secos e chuvosos (variação interanual).

Os resultados sugerem relação direta com a atuação de sistemas sinóticos transientes, efeitos locais e regionais, além de contribuições atmosféricas em escalas meso e micro, como orografia e arborização, fatores que interferem diretamente no comportamento térmico da região.

A análise estatística exploratória e de homogeneidade contribuiu para o entendimento da distribuição térmica, revelando que a mediana representa de forma eficaz as oscilações observadas ao longo do período avaliado.

Recomenda-se a implementação de projetos ambientais voltados à retirada controlada das algarobas, uma vez que sua presença tem dificultado o crescimento de espécies nativas e rasteiras, contribuindo para o aumento dos índices térmicos locais.

Estudos futuros devem se concentrar na análise dos fatores antropogênicos, com destaque para investigações espaciais da paisagem urbana, a fim de identificar se os efeitos da urbanização estão influenciando negativamente o clima local e provocando desconforto térmico à população.

REFERÊNCIAS

- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**, (4a ed.), Jaboticabal: Funep, 237. 2006.
- BISQUERRA, R.; SARRIERA, J. C.; MARTÍNEZ, F. **Introdução à estatística: enfoque informático com o pacote estatístico SPSS**. Porto Alegre: ARTMED. 2004.
- CAVALCANTI, E. P.; SILVA, E. D. V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8, 1994. Belo Horizonte, **Anais...Belo Horizonte: SBMET**, 1, p.154-157. 1994.
- 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**, 10. p.140-147. 2006.
- CUNHA FILHO, M.; FRANÇA, M. V.; LAGES, M. G. M. O.; HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M. **Oscilações e variabilidades climáticas no Povoado Ribeira de Cabaceiras/Paraíba**, 1ª Edição. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Editora Universitária. 2024.
- DUANE, D. B. Significance of skewness in recent sediments, Western Palmico Sound, North Carolina. **Journal of Sedimentary Petrology**, 34: 864-874. 1964.
- FOLLAND, C. K.; KARL, T. R.; CHRISTY, J. R. **Observed Climate Variability and Change. Climate Change 2001: The Scientific Basis**. In: Houghton, J.T., et al., Eds., Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 99-181. 2001.
- FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática do sorgo como suporte alimentar a avicultura de São Bento Una-Pernambuco, Brasil. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 4, p. 275-283, 2022.
- GALVANI, E. **Estatística descritiva em sala de aula**. In: VENTURI, L. A.B. Geografia: Práticas de campo, laboratório e sala de aula. São Paulo: Editora Sarandi, 2011.
- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 11ª. Ed. São Paulo, SP, Livraria Nobel S. A., 430p. 1985.
- IPCC. Intergovernmental Painel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2023.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers, in Climate Change 2007: **Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. edited by M. 2007.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for policymakers In: Climate Change 2014: **Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA) ed C B Field et al. (Cambridge University Press) pp 1–32. 2014.
- LOMBARDO, M. A. **Ilhas de Calor nas Metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC, 1985. 244 p

- MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; SOARES, W. R.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M.; de BARROS BRITO, S. S.; CUARTAS, L. A.; LEAL, K.; RIBEIRO NETO, G.; ALVALÁ, R. C. S.; MAGALHAES, A. R. Increase Risk of Drought in the Semiarid Lands of Northeast Brazil Due to Regional Warming above 4 °C. *Climate Change Risks in Brazil*. 1ed.: **Springer International Publishing**, v. , p. 181-200. 2019.
- MEDEIROS, R. M.; SILVA, V. P.; MORAES, A. S.; PISCOYA, V.; FRANCA, M. V.; SABOYA, L. M. F. Decadal Precipitation in São Bento Una - Pernambuco, Brazil. *ijserm.humanjournals.com*. 19, 42 - 56. 2021.
- MEDEIROS, R.M.; CAVALCANTI, E.P. Tendência climática das temperaturas do ar no município de Bom Jesus do Piauí, Brasil. **Research, Society and Development**. 9(7):1-23, e315973882. 2020.
- MONTEIRO, C. A. F. **Clima e Excepcionalismo: Conjeturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1991.
- SALES, M. C. L.; RAMOS, V. M. **Caracterização ambiental das áreas sob influência do reservatório de Bocaina (PI) com base na compartimentação geomorfológica**. Carta CEPRO 18, 149-161. 2000.
- SILVA, A. M.; COSTA, D. L. C. R.; LINS, C. J. C. Precipitações no Nordeste Brasileiro: tendências de variação e possíveis implicações na agricultura. **Anais...Semana do Meio Ambiente**, Recife 5. 2008.
- SOUSA, E. S.; LIMA, F. W. B.; MACIEL, G. F.; SOUSA, J. P.; PICANÇO, A. P. Balanço hídrico e classificação climática de Thornthwaite para a cidade de Palmas-TO. **XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Belém-PA, Anais on line, 2010.
- SUGUIO, K. **Introdução a Sedimentologia**. São Paulo, Editora Edgar Blucher, 245 p. 1973.
- TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística** (9a ed.). Rio de Janeiro: LTC. 2005.

Capítulo 18 - ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA PLUVIOMÉTRICA NO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRASIL

Ana Karolina Peres de Melo Silva

Salatiel Ewen Braga

Raimundo Mainar de Medeiros

Romildo Morant de Holanda

Naedna Medeiros dos Santos

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar as oscilações pluviais por meio de uma abordagem espaço-temporal no Povoado Ribeira de Cabaceiras, Paraíba, Brasil, no período de 2010 a 2023. A análise busca compreender como as mudanças nos padrões de precipitação podem impactar a região, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, bem como para a gestão sustentável dos recursos hídricos e ambientais locais e regionais. Foram computados os totais mensais de precipitação, organizados em série sequencial, com representação gráfica da média climatológica e de sua tendência. Em seguida, calcularam-se a média histórica mensal e anual, o desvio padrão, o desvio padrão normalizado, o coeficiente de variação, além dos valores máximos e mínimos absolutos registrados entre 2010 e 2023. A dinâmica pluviométrica da região é influenciada por sistemas climáticos de escala local e regional, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), ventos alísios de nordeste, convergência de umidade, trocas de calor, linhas de instabilidade e aglomerados convectivos. Fenômenos globais, como o El Niño–Oscilação Sul (ENOS), também desempenham papel importante na ocorrência (ou ausência) de chuvas na área estudada. Os resultados revelam a ocorrência de períodos mensais de seca severa intercalados com meses de precipitações acima da média, indicando um padrão de alta variabilidade climática, com impactos significativos sobre a agricultura, o meio ambiente e a disponibilidade dos recursos hídricos na região.

Palavras-chave: Variabilidade climática, Sistemas atmosféricos, Gestão hídrica, Adaptação ambiental, Oscilações sazonais.

SPATIOTEMPORAL ANALYSIS OF RAINFALL IN THE VILLAGE OF RIBEIRA DE CABACEIRAS – PARAÍBA, BRAZIL

ABSTRACT

This study aims to analyze rainfall fluctuations through a spatiotemporal approach in the Village of Ribeira de Cabaceiras, Paraíba, Brazil, from 2010 to 2023. The analysis seeks to understand how changes in precipitation patterns can impact the region, contributing to the development of climate change mitigation and adaptation strategies, as well as to the sustainable management of local and regional water and environmental resources. Monthly rainfall totals were calculated and organized into a sequential time series, with graphical representation of the climatological average and its trend. Subsequently, historical monthly and annual means, standard deviation, normalized standard deviation, coefficient of variation, and absolute maximum and minimum values recorded between 2010 and 2023 were computed. The rainfall dynamics in the region are influenced by local and regional-scale climatic systems such as the Intertropical Convergence Zone

(ITCZ), Upper-Level Cyclonic Vortices (ULCV), northeast trade winds, moisture convergence, heat exchange, instability lines, and convective clusters. Global phenomena such as the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) also play an important role in the occurrence (or absence) of rainfall in the studied area. The results reveal the presence of monthly periods of severe drought interspersed with months of above-average precipitation, indicating a pattern of high climatic variability with significant impacts on agriculture, the environment, and water availability in the region.

Keywords: Climate variability, Atmospheric systems, Water management, Environmental adaptation, Seasonal oscillations.

INTRODUÇÃO

Monitorar e analisar a distribuição das chuvas é, portanto, de grande relevância para uma boa gestão hídrica, principalmente diante das alterações notadas no comportamento do clima, como citado anteriormente. Dito isso, cada vez mais trabalhos investigam o comportamento espaço-temporal das chuvas e buscam compreender possíveis tendências (Borges et al., 2021; Helmi et al., 2023; Lucas et al., 2022; Sousa et al., 2023).

Segundo o IPCC (2021), nas últimas décadas, a recorrência de desastres e a magnitude dos danos que causam têm aumentado em todo o mundo. Alguns desses eventos extremos estão associados às condições climáticas e meteorológicas, que estão relacionadas às mudanças climáticas, conforme mostram as projeções globais.

Para Santos et al. (2023), a variabilidade da precipitação é um fenômeno climático de extrema relevância, que influencia nas dimensões ambientais, sociais e econômicas, servindo de base para o direcionamento de políticas públicas alinhadas às necessidades locais. Dentre os dados climatológicos, a precipitação recebe destaque, visto que o conhecimento sobre o regime de chuvas pode auxiliar na prevenção de desastres naturais, considerando a vulnerabilidade de inúmeras cidades frente a ocorrências associadas a essa variável. A análise quantitativa da pluviometria é essencial para o entendimento da sazonalidade, frequência e intensidade da variável, a partir da série histórica de dados.

Na região Nordeste do Brasil (NEB), a situação é agravada pelas intensas precipitações e pela irregularidade hídrica, resultando em significativa perda de solo e degradação dos recursos hídricos (Sousa, 2018). A análise pluviométrica é particularmente importante em regiões vulneráveis a extremos climáticos, como as áreas semiáridas e áridas, para entender as dinâmicas ambientais e aprimorar o planejamento territorial (Christofoletti, 1980).

Para Medeiros (2022), essas observações confirmam a ocorrência de uma taxa de evapotranspiração muito elevada no NEB. As variações nas tendências podem ser atribuídas a uma combinação de fatores, incluindo a intensa incidência de radiação solar, temperaturas consistentemente elevadas e a quantidade reduzida de água disponível proveniente das chuvas.

De acordo com Rocha e Almeida (2021), a variabilidade pluviométrica afeta direta e indiretamente a sociedade e as atividades socioeconômicas, destacando-se a atividade agrícola, que sofre com reduções no plantio devido aos longos períodos de seca e às chuvas intensas. Ademais, os autores ressaltam a problemática da seca no Semiárido Brasileiro, registrada em inúmeras pesquisas como um problema cíclico. A dinâmica espaço-temporal das chuvas (e, conseqüentemente, das secas) no Nordeste é complexa, e

seu entendimento científico, bem como a identificação dos mecanismos de teleconexão climática associados, remontam à década de 1970.

Tem-se como objetivo fundamental deste estudo analisar as oscilações pluviais por meio da análise espaço-temporal no Povoado Ribeira de Cabaceiras, entre 2010 e 2023. A análise visa compreender como as mudanças nos padrões pluviais podem impactar a área estudada, com vistas ao desenvolvimento de estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, e à melhoria da gestão dos recursos hídricos e ambientais naturais, considerando os elementos climáticos locais e regionais.

METODOLOGIA

Os fatores responsáveis pela ocorrência de chuvas na região incluem a atuação da Zona de Convergência Intertropical, Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis, linhas de instabilidade e aglomerados convectivos, além dos ventos alísios de nordeste, da convergência de umidade e da troca de calor. Também contribuem os efeitos locais, como a cobertura de nuvens e a umidade relativa do ar, que resultam em chuvas fracas a moderadas em quase todos os meses do ano (Lima et al., 2024).

Os dados pluviométricos foram interpolados pelo método do quadrado da distância, utilizando informações dos municípios circunvizinhos: São João do Cariri, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel, Boqueirão e Boa Vista, no estado da Paraíba. Os dados foram disponibilizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas (AESA, 2023), abrangendo o período de 2010 a 2023.

Computaram-se os totais mensais de precipitação, seguidos de sua organização em série sequencial, com representação da média climatológica e da tendência observada. Em seguida, foram calculadas a média histórica mensal e anual, o desvio padrão, o coeficiente de variação, e os valores máximos e mínimos absolutos registrados entre 2010 e 2023. O desvio padrão normalizado foi calculado segundo a equação:

$$DPN = (((\text{prec. Obs} - \text{prec. Clima}) / \text{prec. Clima}) * 100)$$

Onde:

DPN: desvio padrão normalizado;

Prec. Obs: precipitação observada;

Prec. Clima: precipitação climatológica.

Posteriormente, aplicaram-se os critérios de classificação dos desvios padrões normalizados, conforme os intervalos definidos na Tabela 1, para os índices mensais e anuais de precipitação no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Tabela 1. Critérios de classificações, utilizando-se os intervalos dos desvios padrões normalizados, mensais e anuais dos índices pluviais, do Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Desvio Padrão (%)	Classificação
±0,0 a 25,0	Normal (N)
±25,1 a 45,0	Seco (S) / Chuvoso (C)
±45,1 a 70,0	Muito seco (MS) / Muito chuvoso (MC)
±70,1 a >100,0	Extremamente seco (ES) / Extremamente chuvoso (EC)

Fonte: Adaptado de AESA 2023.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Os episódios de eventos extremos vêm se intensificando nas últimas décadas, estando relacionados às variações provocadas pelas mudanças climáticas, impulsionadas pelo aumento das emissões e concentrações de gases de efeito estufa de origem antropogênica. Isso é agravado pela má distribuição e irregularidade das chuvas, além da ausência de estratégias básicas para o monitoramento das águas subterrâneas, lençóis freáticos, espelhos d'água, armazenamento e abastecimento urbano.

As formações de linhas de instabilidade, aglomerados convectivos, ondas de leste e de Madden-Julian, juntamente com sistemas em escalas de meso e microescala, são responsáveis por influenciar o clima local e regional.

A Tabela 2 representa as classificações intermensais e anuais da pluviometria entre 2010 e 2023, revelando as seguintes ocorrências: 47 meses classificados como extremamente secos e 31 meses como extremamente chuvosos. As classificações “muito seco” e “chuvoso” foram observadas em 18 e 19 meses, respectivamente. Houve ainda 34 meses com chuvas dentro da normalidade, 19 meses classificados como secos e 9 como chuvosos. Estudos com resultados semelhantes podem ser encontrados em Cunha Filho et al. (2024), Marengo et al. (2021) e no IPCC (2022).

Tabela 2. Classificações, mensais e anuais dos índices pluviiais, entre 2010 – 2023, do Povoado Ribeira de Cabaceiras.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
2010	EC	MS	MS	S	ES	EC	S	S	N	EC	ES	N	N
2011	MC	ES	MS	S	ES	EC	S	EC	N	EC	ES	C	N
2012	EC	ES	MC	C	EC	N	EC	EC	ES	ES	MC	ES	MC
2013	N	EC	MS	EC	MS	S	MS	ES	ES	ES	ES	ES	MS
2014	ES	ES	ES	MC	MS	S	MC	MC	MC	N	EC	C	N
2015	ES	EC	ES	N	EC	S	N	S	MC	MS	N	EC	N
2016	MC	C	ES	N	ES	MS	ES	MS	MC	MS	ES	S	S
2017	ES	ES	ES	N	ES	S	N	MS	EC	ES	ES	ES	MS
2018	C	MS	MS	C	ES	ES	ES	ES	ES	ES	EC	ES	S
2019	C	S	N	MC	ES	MS	MC	EC	S	ES	ES	ES	N
2020	ES	C	EC	MC	N	S	MS	ES	EC	ES	S	ES	N
2021	N	N	N	N	N	N	N	N	S	ES	ES	MC	N
2022	MC	ES	EC	S	EC	EC	EC	EC	ES	ES	EC	EC	EC
2023	S	N	C	N	MC	MC	S	MS	EC	N	N	N	N

Legenda: EC: Extremamente chuvoso; ES: Extremamente seco; MC: Muito chuvoso; MS: Muito seco; S: Seco; C: Chuvoso; N: Normal.

Fonte: O Autor.

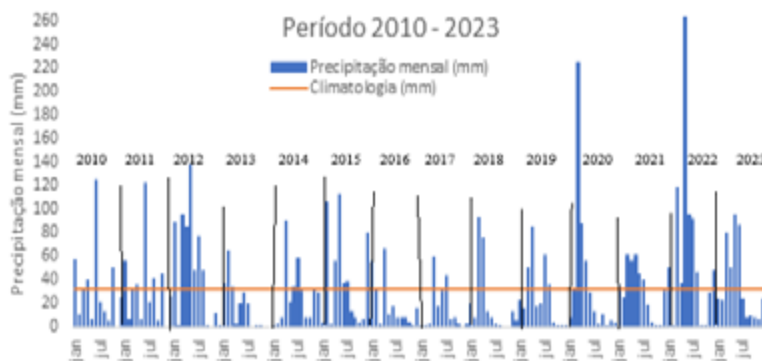
Na Figura 1, observam-se as representações das chuvas mensais e anuais, bem como a média climatológica para o período de 2010 a 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras. Houve grandes flutuações e má distribuição das chuvas entre meses e anos, o que é característico das regiões semiáridas brasileiras (Marengo et al., 2016; Marengo et al., 2019).

Destaca-se o ano de 2020, quando, entre março e junho, choveu 84,4% do total anual (470,7 mm). Em 2022, esse valor foi de 83,7%. Os anos de 2021 e 2023 também

registraram valores acima da média. Esses volumes foram associados à atuação de movimentos verticais ascendentes, formação de nuvens superiores a 0,9 décimos, trocas de calor, atividade da Zona de Convergência Intertropical e influências locais e regionais que advectaram umidade para a região.

Nos demais anos, a distribuição das chuvas apresentou períodos de escassez hídrica e eventos extremos, como secas prolongadas e chuvas intensas, influenciadas por fenômenos climáticos globais. Houve tanto anos excepcionalmente úmidos quanto períodos de forte seca.

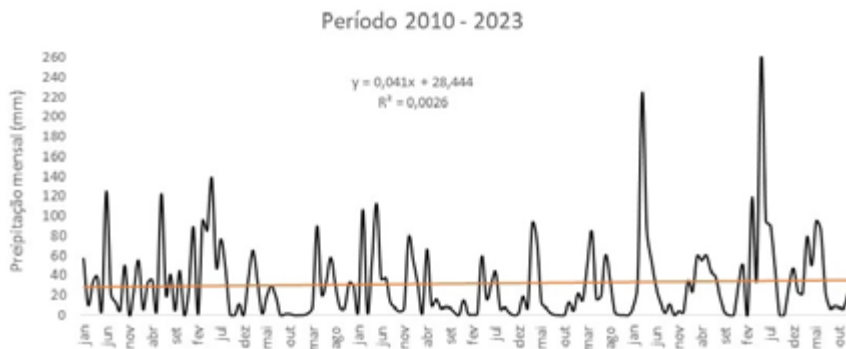
Figura 1. Representações pluviométricas mensais, e a média climatológica do período de 2010 – 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

A Figura 2 mostra a tendência das chuvas mensais entre 2010 e 2023 no Povoado Ribeira de Cabaceiras. A tendência é positiva, embora com baixo valor de R^2 . Destaca-se a ocorrência de ventos intensos seguidos de chuvas moderadas a fortes em curtos intervalos, que podem causar enxurradas, alagamentos, cheias, deslizamentos de terra e erosões moderadas a intensas, especialmente diante da ausência de vegetação nativa.

Figura 2. Representação pluviométrica mensal e sua reta de tendência, entre o período de 2010 – 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

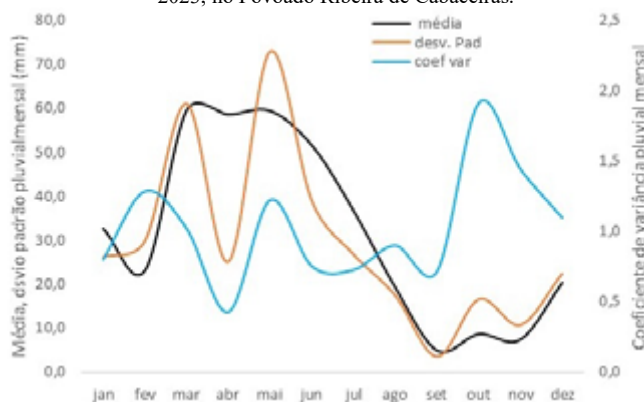


Fonte: O Autor.

A Figura 3 apresenta a média mensal de precipitação, o desvio padrão e o coeficiente de variação para o período de 2010 a 2023. O coeficiente de variação mostra que os valores de chuva oscilaram em relação à média e ao desvio padrão (Galvani, 2011).

As chuvas foram irregulares e mal distribuídas, afetadas por linhas de instabilidade, aglomerados convectivos, trocas de calor, transporte de vapor e umidade, bloqueios atmosféricos e sistemas em meso e microescala. Houve redução nas chuvas entre maio e setembro, irregularidades em outubro e novembro, aumento em novembro e dezembro, queda em janeiro, incremento em fevereiro e irregularidade entre março e maio. Essas variações impactam diretamente a agricultura e a gestão dos recursos hídricos, como já previsto por Marengo et al. (2021), IPCC (2023) e Medeiros et al. (2022).

Figura 3. Representação pluvial média, desvio padrão e coeficiente de variância, entre o período de 2010 – 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Torna-se evidente a necessidade de monitoramento constante e da formulação de políticas públicas que considerem a flutuação e as projeções das mudanças climáticas, a fim de mitigar impactos adversos e garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos da região.

A questão climática vem se tornando central nos debates atuais, seja tratada como emergência, crise ou mudança. Ela afeta diretamente o cotidiano da população, interferindo em atividades socioeconômicas, culturais, de lazer e, principalmente, nas ocorrências de eventos extremos, como chuvas intensas ou escassas.

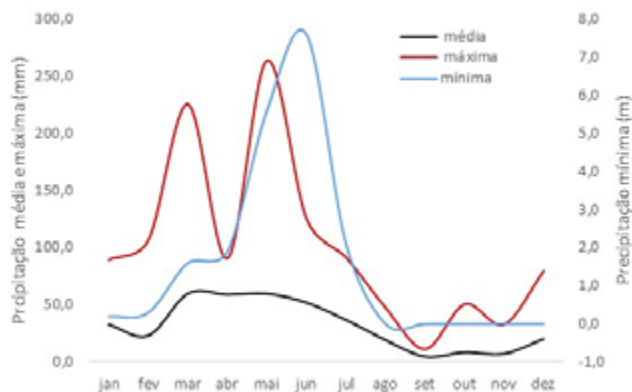
Assim, para compreender os sistemas climáticos que definem o clima local, foram utilizados dados interpolados da área de estudo, conforme representado na Figura 4.

As precipitações mínimas variaram de 0,2 mm (janeiro) a 7,6 mm (junho). De agosto a dezembro, não houve registros de precipitação mínima. Essas flutuações resultam da interação de sistemas locais e regionais e das dinâmicas dos sistemas produtores de chuva no semiárido nordestino, conforme discutido por Marengo et al. (2019), IPCC (2007) e Medeiros (2020).

As precipitações máximas absolutas foram registradas nos meses de fevereiro, março e junho, variando de 106,3 mm a 263,4 mm. Esses picos de chuva foram provocados por eventos extremos relacionados à formação de aglomerados convectivos, linhas de instabilidade e trocas de calor (IPCC, 2021; Medeiros, 2020).

A precipitação média anual da área estudada é de 382,9 mm. As oscilações mensais variam de 4,9 mm (setembro) a 59,7 mm (março). Os meses considerados chuvosos representam 69,5% do total anual, enquanto os meses secos correspondem a 10,5%.

Figura 4. Representação pluvial mensal da média, máximo mínimos pluviométricos absolutos, entre o período de 2010 – 2023, no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

CONCLUSÃO

Os resultados evidenciam períodos mensais de seca severa intercalados com episódios de chuvas acima da média, indicando um padrão de alta variabilidade pluviométrica. Essa oscilação acentuada provoca impactos expressivos nos setores agrícola, ambiental e na gestão dos recursos hídricos da região.

Tais resultados contribuem para a compreensão do comportamento climático local, oferecendo subsídios relevantes para o monitoramento e para a formulação de políticas públicas voltadas à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas em escala local e regional. Essas ações são essenciais para garantir a sustentabilidade dos recursos naturais e a resiliência das atividades humanas no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

A influência de sistemas climáticos locais e regionais como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), os ventos alísios de nordeste, a convergência de umidade, a troca de calor, linhas de instabilidade e aglomerados convectivos bem como fenômenos globais, como o El Niño-Oscilação Sul (ENOS), são determinantes na ocorrência ou ausência de chuvas na área de estudo.

REFERÊNCIAS

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2023.
- BORGES, A.; FUJITA, R. H.; BINDA, A. L. As chuvas do baixo rio Iguaçu (Sudoeste do Paraná) no período de 1976 a 2016. *GEOSUL – Revista do Departamento de Geociências*, v. 36, n. 78, 64-85. 2021.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1980.
- CUNHA FILHO, M.; FRANÇA, M. V.; LAGES, M. G. M. O.; HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M. *Oscilações e variabilidades climáticas no Povoado Ribeira de Cabaceiras/Paraíba*, 1ª Edição. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Editora Universitária. 2024.
- GALVANI, E. *Estatística descritiva em sala de aula*. In: VENTURI, L. A.B. Geografia: Práticas de campo, laboratório e sala de aula. São Paulo: Editora Sarandi, 2011.
- HELMI, A. M.; ELGAMAL, M.; FAROUK, M. I.; ABDELHAMED, M. S.; ESSAWY, B.T. Evolution of Geospatial Interpolation Techniques for Enhancing Spatiotemporal Rainfall Distribution and Filling Data Gaps in Asir Region, Saudi Arabia. *Sustainability*, v. 15, n. 8, 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers, in Climate Change 2007: **Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. edited by M. 2007.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, MASSON-DELMOTTE, V.; P. ZHAI, A.; PIRANI, S. L.; CONNORS, C.; PÉAN, S.; BERGER, N.; CAUD, Y.; CHEN, L.; GOLDFARB, M. I.; GOMIS, M.; HUANG, K.; LEITZELL, E.; LONNOY, J. B. R.; MATTHEWS, T. K.; MAYCOCK, T.; WATERFIELD, O.; YELEKÇİ, R.; YU, B.; (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, p.3–32. 2021.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, H. O. PÖRTNER, D. C.; ROBERTS, E. S.; POLOCZANSKA, K.; MINTENBECK, M.; TIGNOR, A.; ALEGRÍA, M.; CRAIG, S.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, V.; MÖLLER, A. OKEM (eds.). Cambridge University Press. 2022.

LIMA, M. G. M.; MEDEIROS, R. M.; SABOYA, L. M.F. Oscilações quinquenal do balanço hídrico no povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**. 2024.

LUCAS, M. P.; LONGMAN, R. J.; GIAMBELLUCA, T. W.; FRAZIER, A. G.; MCLENA, J.; CLEVELAND, S. B.; HUANG, Y. F.; LEE, J. Optimizing automated kriging to improve spatial interpolation of Monthly rainfall over complex terrain. **Journal of Hydrometeorology**, v. 23, 561-572. 2022.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; CUARTAS, L. A.; DEUSDARÁ LEAL, K. R.; BROEDEL, E.; SELUCHI, M. E.; MICHELIN, C. M.; DE PRAGA BAIÃO, C. F.; CHUCHÓN ÂNGULO, E.; ALMEIDA, E. K.; KAZMIERCZAK, M. L.; MATEUS, N. P. A.; SILVA, R. C.; BENDER, F. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: Characterization, Causes, and Impacts. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 1-20, 2021.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; SOARES, W. R.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M.; de BARROS BRITO, S. S.; CUARTAS, L. A.; LEAL, K.; RIBEIRO NETO, G.; ALVALÁ, R. C. S.; MAGALHAES, A. R. Increase Risk of Drought in the Semiarid Lands of Northeast Brazil Due to Regional Warming above 4 °C. Climate Change Risks in Brazil. 1ed.: **Springer International Publishing**, v. , p. 181-200. 2019.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in northeast Brazil-past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3-4: p. 1189-1200, 2016.

MEDEIROS, R. M. Milho e sorgo e suas potencialidades nas aptidões climáticas para o Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Mirante**, Anápolis (GO), v. 13, n. 2, dez. 2020. ISSN 1981-4089. 2020.

MEDEIROS, R. M. Regime pluvial máximo provável para São Bento do Una – Pernambuco, Brasil. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 14, p. 213–225, 2022.

MEDEIROS, R. M.; FRANÇA, M. V.; SABOYA, L. M. F.; HOLANDA, R. M.; WAGNER, R. B.; BRAGA, S. E. Balanço hídrico e seus comparativos com 1996-2005, 2006-2015 em relação a 2015 no município de São Bento do Una - PE. **E-Acadêmica**, 3, e7532226. 2022.

ROCHA, S. S.; ALMEIDA, F. A variabilidade da precipitação nas sub-bacias do Alto e do Médio Jaguaribe e seu efeito sob os açúdes Castanhão e Orós, localizados no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.01, p. 025-036, 2021.

SANTOS, Y. C.; PESSOA, Z. S.; CARVALHO, E. F.; DIAS, E. M. S.; TEIXEIRA, R. L. P. Enfrentamento aos riscos das mudanças climáticas no semiárido brasileiro: a adaptação climática como uma nova agenda governamental. **Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa**, v. 22, n. 1, p. 46-66, 2023.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFPRPE. 2026.

SOUSA, F. R. C. **Modelagem do sistema hidrológico da bacia hidrográfica do rio Coreaú (Ceará – Brasil): Vulnerabilidade versus planejamento ambiental.** (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, 2018.

SOUSA, L. B.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, M. V.; ALMEIDA, T. A. B.; CARVALHO, A. A.; SILVA, T. G. F.; LIMA, J. L. M. P. Spatio temporal analysis of rainfall and droughts in a semiarid basin of Brazil: Land use and land cover dynamics. **Remote Sensing**, 15, 2550. 2023.

Capítulo 19 - VARIABILIDADE INTER MENSAL E ANUAL DO EVAPOPLUVIOGRAMA NO POVOADO RIBEIRA DE CABACEIRAS – PB, BRASIL

Salatíel Ewen Braga

Ana Karolina Peres de Melo Silva

Raimundo Mainar de Medeiros

Wagner Rodolfo de Araújo

Naedna Medeiros dos Santos

RESUMO

Os resultados evidenciam períodos mensais de seca severa intercalados com episódios de chuvas acima da média, indicando um padrão de alta variabilidade pluviométrica. Essa oscilação acentuada provoca impactos expressivos nos setores agrícola, ambiental e na gestão dos recursos hídricos da região. Tais resultados contribuem para a compreensão do comportamento climático local, oferecendo subsídios relevantes para o monitoramento e para a formulação de políticas públicas voltadas à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas em escala local e regional. Essas ações são essenciais para garantir a sustentabilidade dos recursos naturais e a resiliência das atividades humanas no Povoado Ribeira de Cabaceiras. A influência de sistemas climáticos locais e regionais, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), os ventos alísios de nordeste, a convergência de umidade, a troca de calor, linhas de instabilidade e aglomerados convectivos, bem como fenômenos globais, como o El Niño-Oscilação Sul (ENOS), são determinantes na ocorrência ou ausência de chuvas na área de estudo.

Palavras-chave: Sustentabilidade ambiental, Sistemas atmosféricos, Monitoramento climático, Políticas públicas, Resiliência hídrica.

INTERMONTHLY AND ANNUAL VARIABILITY OF THE EVAPOPLUVIOGRAM IN THE VILLAGE OF RIBEIRA DE CABACEIRAS – PARAÍBA, BRAZIL

ABSTRACT

The results reveal monthly periods of severe drought interspersed with episodes of above-average rainfall, indicating a pattern of high pluviometric variability. This sharp fluctuation causes significant impacts on the agricultural, environmental, and water resource management sectors in the region. Such findings contribute to the understanding of local climate behavior, providing relevant support for monitoring efforts and the formulation of public policies aimed at mitigating the effects of climate change on both local and regional scales. These actions are essential to ensure the sustainability of natural resources and the resilience of human activities in the Village of Ribeira de Cabaceiras. The influence of local and regional climate systems—such as the Intertropical Convergence Zone (ITCZ), Upper-Level Cyclonic Vortices (ULCV), northeast trade winds, moisture convergence, heat exchange, instability lines, and convective clusters—as well as global phenomena like the El Niño–Southern Oscillation (ENSO), are key determinants in the occurrence or absence of rainfall in the study area.

Keywords: Environmental Sustainability, Atmospheric systems, Climate monitoring, Public policy, Water resilience.

INTRODUÇÃO

O clima e os sistemas atmosféricos, com suas oscilações e variabilidades temporais, exercem grande influência sobre a natureza e as populações humanas, podendo gerar diferentes cenários, benéficos ou prejudiciais, ao ser humano, à vegetação, à fauna e aos setores socioeconômicos, ambientais e de recursos hídricos.

Dentre os diversos sistemas ambientais, o atmosférico tem sido um dos mais impactados nos últimos séculos, principalmente no que diz respeito ao equilíbrio hídrico necessário à sobrevivência humana, à geração de energia, ao represamento e armazenamento de água. As alterações climáticas também contribuem para a elevação das médias térmicas globais, intensificando os processos de evaporação e evapotranspiração.

A evaporação, por exemplo, se reduz consideravelmente na ausência de superfícies líquidas e de áreas verdes. A água, ao se evaporar, consome 600 cal/g; ao nosso entender, isso significa que tal energia, ao não ser utilizada, permanece no ambiente, intensificando a sensação de desconforto térmico e agravando o efeito da ilha de calor. Além disso, gera inúmeros problemas com implicações socioambientais para o planeta, com destaque especial para as grandes metrópoles.

Segundo Soriano (1997), o clima de qualquer área do globo não apresenta as mesmas características a cada ano. Isso porque o clima exerce ampla influência sobre o ambiente, atuando como um fator de interação entre os componentes bióticos e abióticos.

Para Lopes-Bermudez (1990), o clima é o principal fator responsável pelas diferenças entre os processos erosivos de uma área para outra, seja por meio do efeito direto das chuvas, seja pelo efeito indireto da cobertura vegetal.

Essa afirmação evidencia a importância da cobertura vegetal sobre o solo, que deveria apresentar um grau adequado de proteção para mitigar o impacto direto das gotas de chuva. A eliminação da vegetação natural e sua exploração durante a colheita não apenas desprotegem a superfície do solo, mas também reduzem o teor de matéria orgânica, um componente fundamental do solo (Parr et al., 1990).

Na região Nordeste do Brasil, a maioria das atividades econômicas está baseada na exploração dos recursos naturais, destacando-se o extrativismo vegetal, o superpastejo de áreas nativas e o uso agrícola do solo com práticas de manejo frequentemente inadequadas (Sampaio e Salcedo, 1997).

Nas últimas décadas, os impactos climáticos têm se intensificado em diversas partes do mundo. Observa-se que alterações nos ciclos hidrológicos vêm afetando a quantidade, frequência e duração das chuvas, modificando os poderes evaporativos e evapotranspirativos, as temperaturas, o escoamento e, consequentemente, a disponibilidade dos recursos hídricos. Essas mudanças são fortemente associadas à ocorrência de eventos climáticos extremos (Rápalo et al., 2021; Santos et al., 2021).

Segundo Santos et al. (2019), os elementos e fenômenos meteorológicos dependem de diversos processos naturais e apresentam flutuações em diferentes escalas temporais e espaciais. Eventos extremos de tempo e clima são anomalias que podem ocorrer em escalas que vão de dias a milênios (Marengo, 2009). Os eventos extremos de curta duração têm despertado maior interesse na comunidade científica, uma vez que modelos climáticos indicam, em alguns casos, aumento de sua frequência e intensidade (Marengo et al., 2016).

Silva et al. (2008) afirmaram que a caracterização climática da região Nordeste (NEB) é complexa e típica de climas quentes de baixas latitudes, com temperaturas médias anuais superiores a 18 °C, tanto em áreas secas do interior quanto nas mais úmidas da faixa litorânea.

Sales e Ramos (2000) complementam que, em toda a Região Nordeste do Brasil e no território paraibano, as oscilações térmicas são mais influenciadas pelas condições orográficas locais do que pelas variações latitudinais.

Este estudo tem como objetivo analisar a variabilidade intermensal dos tipos climáticos apresentados a cada ano, com base na elaboração do balanço hídrico climatológico e na distribuição interanual das flutuações do evapopluviograma, para o Povoado Ribeira de Cabaceiras, no estado da Paraíba, no período de 2010 a 2023.

METODOLOGIA

O climograma consiste na representação gráfica dos parâmetros meteorológicos mais relevantes para as plantas, por meio de um sistema de coordenadas ortogonais. Esse sistema gráfico permite, por exemplo, comparar a marcha anual dos valores mensais de um par de elementos meteorológicos em estudos agroclimáticos.

Os elementos analisados determinam, no diagrama, pontos que, ao serem interligados, formam polígonos irregulares, caracterizando áreas cujas formas e posições fornecem informações sobre a adaptabilidade da cultura ao local considerado.

Cada climograma recebe a denominação dos elementos climatológicos nele representados. Assim, quando a temperatura média do ar é plotada em função da umidade relativa, obtém-se o termohigrograma; se Etr, Etp ou Etr/Etp é plotado em função da UR, tem-se o evapohigrograma; ou, quando em função da precipitação, denomina-se evapopluviograma.

Os evapopluviogramas referem-se a climogramas adaptados ao balanço hídrico, sendo utilizados para avaliar as condições climáticas adequadas ao desenvolvimento das culturas. Como ambos os elementos representados no evapopluviograma são expressos em milímetros, é possível compará-los quantitativamente, com base em seus valores absolutos, ao contrário da maioria dos climogramas, que permite apenas comparações relativas.

Para facilitar sua interpretação, o evapopluviograma é dividido em seis setores hídricos, nos quais os valores de precipitação correspondem a diferentes múltiplos ou submúltiplos da evapotranspiração potencial, e em quatro faixas térmicas, que indicam limitações ou exigências térmicas para as culturas. Os setores hídricos, com vértices no ponto de origem da figura, representam o gradiente de umidade e são expressos por índices hídricos (Ih) e índices de repouso por seca (Irs).

Nesta metodologia, os valores de evapotranspiração de referência foram estimados com base nos cálculos do balanço hídrico propostos por Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955), utilizando-se planilhas eletrônicas desenvolvidas por Medeiros et al. (2013). Obtiveram-se os valores médios de evapotranspiração real, evapotranspiração potencial, excedente e deficiência hídrica. A capacidade de água disponível no solo (CAD) adotada foi de 100 mm.

Os dados de precipitação e temperatura mensal e anual foram interpolados pelo método da distância ao quadrado. Já os índices térmicos foram estimados com o auxílio do software Estima-T. Os dados climatológicos médios mensais foram agrupados para um período igual ou superior a 44 anos, caracterizando o período de normal climatológica. Com auxílio de planilhas eletrônicas, calcularam-se as médias mensais e anuais de

temperatura do ar e precipitação, essenciais para o cálculo do balanço hídrico pelo método de Thornthwaite.

A relevância da estimativa do balanço hídrico para o município de Barbalha - CE está na importância da água para o desempenho agrícola, abastecimento humano, geração de energia, lazer, irrigação e uso sustentável dos recursos hídricos.

Para o cálculo do balanço hídrico climatológico, utilizou-se o valor de CAD = 100 mm, representativo dos solos da região de estudo, os quais possuem elevada capacidade de armazenamento de água. Com base neste balanço hídrico, adotaram-se as metodologias de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955) para a classificação climática, segundo os valores de CAD previamente definidos.

Em seguida, elaborou-se uma planilha eletrônica com os dados, preenchendo eventuais lacunas. Após o cálculo das médias mensais, anuais e dos trimestres mais seco e mais úmido da evapotranspiração de referência, foi confeccionada a estatística básica. Por meio dessa, produziram-se os mapas ou cartas mensais, anuais e dos trimestres mais úmido e mais seco.

A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), mensal e anual, foi feita com base em equações empíricas para estimativa da temperatura do ar, conforme metodologia proposta por Medeiros et al. (2013). Com os dados dessas séries, ajustaram-se equações por meio do método dos mínimos quadrados, gerando equações de regressão linear múltipla. O modelo estatístico utilizado é o seguinte:

$$E(Y) = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3$$

Onde:

Y: temperatura mensal do ar (média, máxima ou mínima) °C;

X₁, X₂ e X₃: latitude e longitude do local (minuto) e altitude (metro), respectivamente;

a₀, a₁, a₂ e a₃: coeficientes da equação de regressão.

As Tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente, a interpretação dos setores do evapopluviograma e a interpretação das faixas térmicas, fundamentais para a análise dos resultados.

Tabela 1. Interpretação dos setores de evapopluviograma.

Setor	Relação Pr/ETp	Significado	Índices Ih	Índices Irs
A	1:4 ou mais	Árido	0	3
B	1:4 a 1:2	Seco	1	2
C	1:2 a 1:1	Subúmido	2	1
D	1:0 a 1:1	Úmido	3	0
E	2:1 a 4:1	Super úmido	4	0,5
F	4:1 ou menos	Hiper úmido	5	0

Fonte: O Autor.

Tabela 2. Interpretação das faixas térmicas do evapopluviograma

Faixa	Limite de ETp (mm)	Significado	Índices It	Índices Irf
A	$ETp \leq 50$	Microtêmica	3	3
B	$50 \leq ETp < 80$	Hipotêmica	2	2
C	$80 \leq ETp < 170$	Mesotêmica	1	1
D	$ETp \geq 170$	Hipertêmica	0	0

Fonte: O Autor.

Para facilitar ainda mais a leitura do evapopluviograma, utilizam-se índices culturais, compostos por índices parciais que representam aspectos fundamentais dos períodos vegetativos e de repouso das culturas. Esses índices são calculados pela soma dos produtos do número de meses (pontos) em cada setor pelo índice correspondente.

$$I_v = 1 \times 0 + 3 \times 2 + 8 \times 4 = 38$$

Índice de Vegetação (Iv): indica a capacidade vegetativa da região como uma função da disponibilidade térmica e hídrica, representando um índice anual de vegetação;

Índice de Seca na Vegetação (Isv): representa a presença e severidade da seca durante o período vegetativo. É obtido de forma semelhante ao Iv, considerando apenas os meses vegetativos que caem nos setores subúmido, seco ou árido, utilizando-se os índices de repouso por seca (Irs) definidos para esses setores;

Índice de Repouso por Seca (Irs): indica a presença e intensidade da seca fora do período vegetativo. Calculado de forma semelhante ao Isv, excluindo os meses já computados em Isv;

Índice de Repouso por Frio (Irf): corresponde às condições térmicas insuficientes para o desenvolvimento normal das culturas. Para seu cálculo, soma-se o número de meses na faixa microtêmica (multiplicado por 2) ao número de meses na faixa hipotêmica (multiplicado por 1).

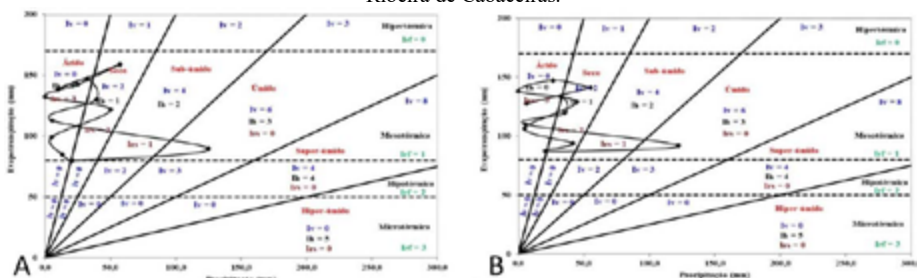
RESULTADO E DISCUSSÃO

Chama-se a atenção para as variações mensais dos tipos de clima nos anos analisados, conforme representado em detalhes na Tabela 4.

No contexto das atividades antrópicas, compreende-se que o clima torna-se um fator indispensável, sobretudo para os setores agropecuários. Assim, o balanço hídrico (BH) e a classificação climática revelam-se ferramentas fundamentais para a análise de uma localidade, fornecendo informações precisas sobre os fatores ecológicos, ambientais e agrícolas (Souza et al., 2014).

A Figura 1 apresenta o evapopluviograma referente ao ano de 2010 (Figura 1a), em que os meses variaram entre os tipos de clima árido, seco, subúmido e úmido, com predominância do clima mesotêmico ao longo de todo o ano. Em 2011 (Figura 1b), foram registrados os mesmos tipos climáticos: árido, seco, subúmido e úmido, mantendo-se a predominância do clima mesotêmico no Povoado Ribeira de Cabaceiras. Resultados semelhantes corroboram os achados de Marengo (2008).

Figura 1. Representação gráfica do evapopluviograma do ano de 2010 (a), ano 2011 (b), no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

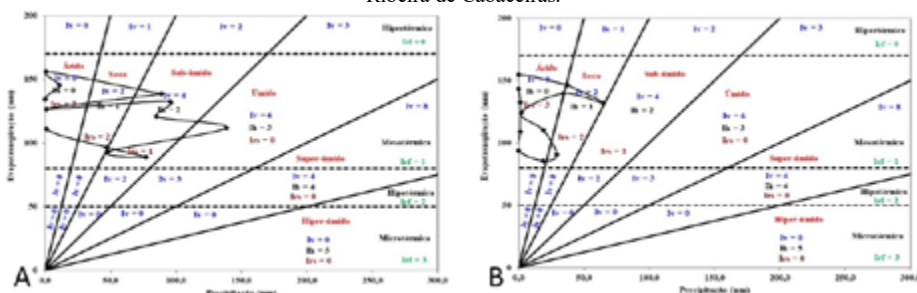


Fonte: O Autor.

O sexto relatório do IPCC (2021) aponta que é inequívoca a influência antropogênica nas mudanças observadas no clima. As emissões de gases de efeito estufa já provocaram um aumento de +1,1°C na temperatura média global desde o século XX.

No ano de 2012 (Figura 2a), observou-se a predominância do clima mesotérmico, com variações mensais entre árido, seco, subúmido e úmido. Em 2013 (Figura 2b), os climas árido e seco foram registrados, mantendo-se a predominância do clima mesotérmico.

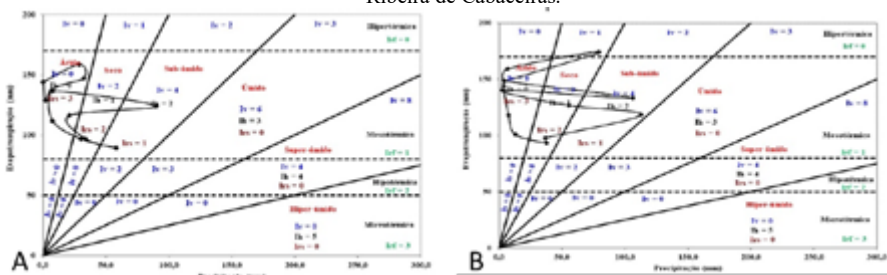
Figura 2. Representação gráfica do evapopluviograma do ano de 2012 (a), ano 2013 (b), no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Em 2014, observaram-se os climas árido, seco e subúmido, com predomínio do clima mesotérmico, conforme ilustrado na Figura 3a. Na Figura 3b, correspondente ao ano de 2015, verificou-se também a predominância do clima mesotérmico, com oscilações mensais entre árido, seco e subúmido.

Figura 3. Representação gráfica do evapopluviograma do ano de 2014 (a), ano 2015 (b), no Povoado Ribeira de Cabaceiras.

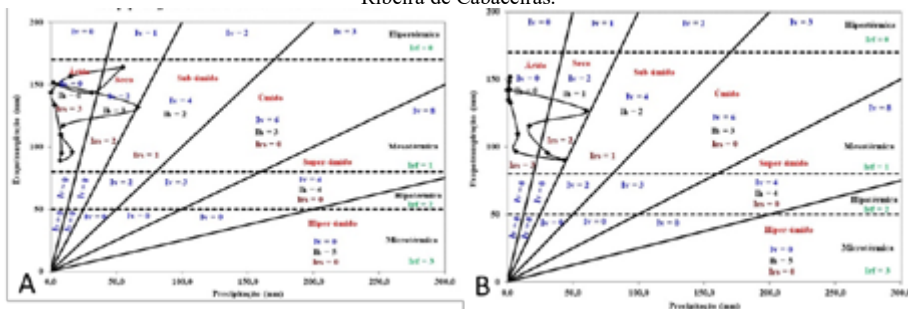


Fonte: O Autor.

Diversos estudos têm apontado variações nas tendências de aumento dos episódios extremos de precipitação em várias regiões do Brasil nas últimas décadas, incluindo os estados do Nordeste, conforme afirmam Soares et al. (2016) e Regoto et al. (2021).

O ano de 2016 registrou clima mesotérmico com oscilações entre árido e seco, conforme Figura 4a. Em 2017 (Figura 4b), manteve-se o clima mesotérmico com flutuações entre os tipos árido e seco.

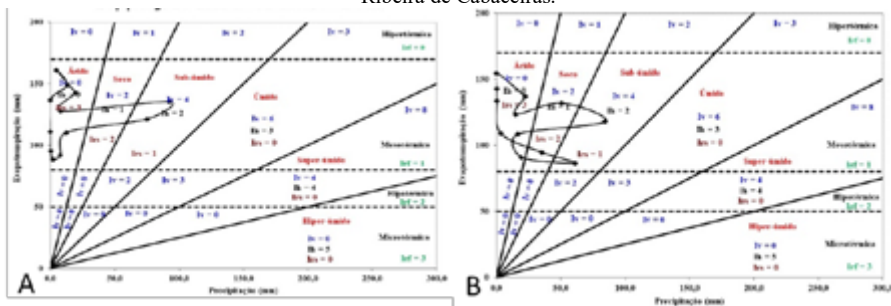
Figura 4. Representação gráfica do evapopluviograma do ano de 2016 (a), ano 2017 (b), no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Além dos aspectos naturais, os efeitos antrópicos contribuem significativamente para alterações no meio ambiente. No ano de 2018 (Figura 5a), houve predominância do clima mesotérmico, com ocorrências dos climas árido, seco e subúmido. Já em 2019 (Figura 5b), verificaram-se oscilações entre árido, seco e subúmido, com predominância do clima mesotérmico.

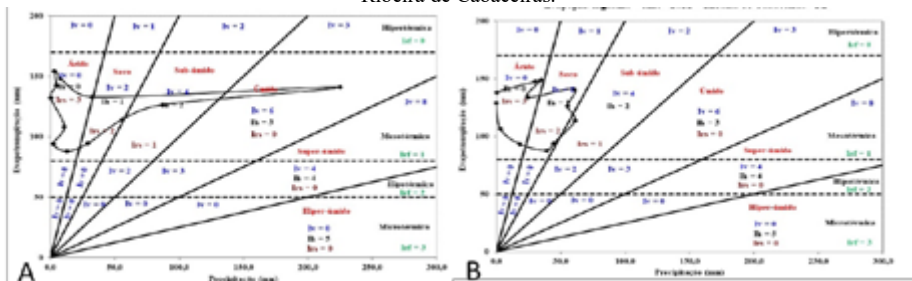
Figura 5. Representação gráfica do evapopluviograma do ano de 2018 (a), ano 2019 (b), no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Na Figura 6a (2020), o clima principal foi o mesotérmico, com variações ao longo dos meses entre árido, seco, subúmido e úmido. Em 2021 (Figura 6b), manteve-se o clima mesotérmico, com oscilações entre árido, seco e úmido.

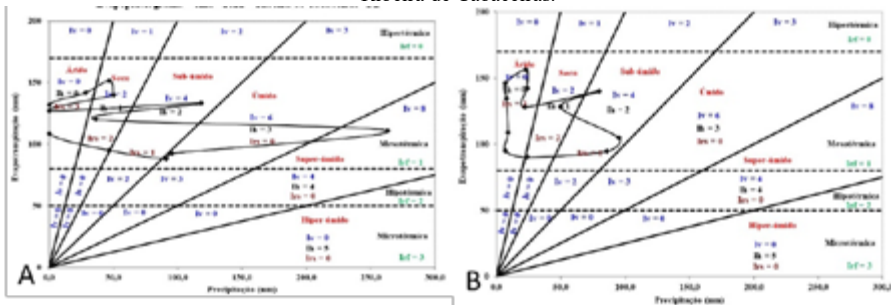
Figura 6. Representação gráfica do evapopluviograma do ano de 2020 (a), ano 2021 (b), no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Em 2022 (Figura 7a), registrou-se a predominância do clima mesotérmico, com oscilações entre os tipos árido, seco, subúmido, úmido e superúmido. No ano de 2023 (Figura 7b), o clima mesotérmico continuou predominante, com variações entre árido, seco e subúmido. Essas variações climáticas estão em consonância com as discussões apresentadas por Marengo (2008).

Figura 7: Representação gráfica do evapopluviograma do ano de 2022 (a), ano 2023 (b), no Povoado Ribeira de Cabaceiras.



Fonte: O Autor.

Os resultados climáticos obtidos por meio da aplicação do evapopluviograma e organizados em tabelas estão representados na Tabela 3. Esses índices corroboram os achados de estudos realizados para o Nordeste brasileiro (França et al., 2021; Medeiros et al., 2013; Matos, Silva, Medeiros, 2014).

A aptidão de uma área ou região é fortemente influenciada pelo regime pluvial, térmico e pela altitude local (Toledo et al., 2009). Esses elementos são de extrema relevância no aspecto social, especialmente em relação às culturas trabalhadas, constituindo uma importante fonte de recursos para a agricultura familiar.

Tabela 3. Representação dos Anos, índices e elementos climáticos do Povoado Ribeira de Cabaceiras, entre 2010-2023.

Ano	Iv	Irs	Irf	Cv (%)	T (°C)	P (mm)	ETp (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
2010	41	6	1	31,3	29,6	344,6	2586,5	2241,9	0,0
2011	32	12	1	29,9	25,3	394,6	1425,9	1034,0	0,0
2012	26	6	0	74,1	25,5	593,7	1384,5	862,3	0,0
2013	14	6	0	23,6	25,5	207,9	1461,9	1254,0	0,0
2014	18	6	0	30,2	25,7	320,1	1487,5	1167,4	0,0
2015	18	6	1	32,9	26,0	466,7	1554,8	1088,1	0,0
2016	14	6	1	30,2	25,9	221,8	1532,6	1310,8	0,0
2017	18	6	8	29,7	25,7	172,8	1485,2	1312,4	0,0
2018	22	6	8	30,7	25,5	234,7	1471,0	1236,7	0,0
2019	14	12	1	30,3	25,3	303,0	1430,6	1121,6	0,0
2020	10	6	1	30,0	25,6	470,7	1476,6	1005,9	0,0
2021	17	6	1	29,7	25,5	371,0	1459,2	1088,2	0,0
2022	21	3	1	30,0	25,4	778,4	1440,7	720,6	0,0
2023	6	6	1	30,2	25,6	434,4	1469,9	1035,5	0,0

Legenda: Iv: Índice de vegetação; Irs: Índice de repouso por seca; Irf: Índice de repouso por frio; Cv: percentual dos três de maiores ETP; T(°C): Temperatura; P(mm): Precipitação; ETP(mm): Evapotranspiração; DEF(mm): Deficiência hídrica; EXC(mm): Excedente hídrico.

Fonte: O Autor.

Na Tabela 4, estão apresentadas as variações dos tipos climáticos ocorridos mensalmente na área estudada: o tipo seco ocorreu quarenta vezes; o clima árido, noventa e seis vezes; o clima úmido, sete vezes; o tipo subúmido, dezenove vezes; e o tipo superúmido, uma vez.

Tabela 4. registros dos tipos climáticos, para o Povoado Ribeira de Cabaceiras, entre 2010-2023.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2010	S	A	A	S	A	U	S	A	A	S	A	A
2011	S	A	A	S	A	U	S	S	A	S	A	A
2012	SU	A	SU	SU	U	SU	SU	S	A	A	A	A
2013	S	S	S	A	A	S	A	A	A	A	A	A
2014	A	A	A	SU	A	S	SU	S	A	A	A	A
2015	A	SU	A	S	SU	S	S	A	A	A	A	S
2016	S	SU	A	SU	A	A	A	A	A	A	A	A
2017	A	A	A	A	A	S	S	A	A	A	A	A
2018	A	A	S	U	SU	A	A	A	A	A	A	A
2019	A	A	A	SU	S	A	SU	S	A	A	A	A
2020	A	A	U	SU	S	S	A	A	A	A	A	A
2021	A	S	S	S	SU	S	S	A	A	A	A	A
2022	S	A	SU	S	SUU	U	U	S	S	A	A	S
2023	A	A	SU	S	SU	SU	S	A	A	A	A	A

Legenda: Tipos de clima – S = Seco; A = Árido; U = Úmido; SU = Subúmido; SUU = Supúmido.

Fonte: O Autor.

CONCLUSÕES

As variações climáticas observadas ao longo do período analisado refletem flutuações térmicas e pluviais que atuaram de forma intermensal e interanual na área estudada. A predominância do clima mesotérmico, com alternância entre os tipos árido, seco, subúmido, úmido e, em um único registro, superúmido, evidencia a sensibilidade climática do Povoado Ribeira de Cabaceiras às influências tanto de fatores naturais quanto antrópicos.

Os sistemas atmosféricos regionais, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a atuação de vórtices ciclônicos e a variabilidade associada aos fenômenos El Niño e La Niña, mostraram-se determinantes na distribuição e na intensidade das chuvas, interferindo diretamente no balanço hídrico local. Esses elementos, combinados às características ambientais e às alterações promovidas pelas atividades humanas, contribuíram significativamente para a dinâmica climática registrada.

A aplicação dos índices climáticos e do método do evapopluviograma permitiu identificar padrões relevantes para o planejamento agropecuário e ambiental da região. Tais dados são essenciais para orientar estratégias de uso sustentável do solo, manejo da agricultura familiar e adaptação às mudanças climáticas em escala local.

REFERÊNCIAS

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; SABOYA, L. M. F.; ARAUJO, W. R.; ROLIM NETO, F. C.; PEREIRA, M. L. F.; BRAGA, S. E. Balanço hídrico sequencial e sua respectiva erosão pluvial no município de Amparo de São Francisco – SE. **Revista Recima** 21, v. 2, p. e24243, 2021.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, MASSON-DELMOTTE, V.; P. ZHAI, A.; PIRANI, S. L.; CONNORS, C.; PÉAN, S.; BERGER, N.; CAUD, Y.; CHEN, L.; GOLDFARB, M. I.; GOMIS, M.; HUANG, K.; LEITZELL, E.; LONNOY, J. B. R.; MATTHEWS, T. K.; MAYCOCK, T.; WATERFIELD, O.; YELEKÇI, R.; YU, B.; (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, p.3–32. 2021.

LOPEZ-BERMUDEZ, F. G. Y consecuencia de los procesos erosivos de condiciones ambientales mediterráneas. In: **SEMINÁRIO “EROSIÓN DEL SUELO EN CONDICIONES AMBIENTALES MEDITERRÁNEAS”**, 1990, Valencia. Valencia: Universidad Internacional Menéndez Pelayo, 108 p. 1990.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. In: **FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (FBDS)**. Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. Rio de Janeiro: FBDS, v. 24. 2009.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, 27, 149-175. 2008.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in northeast Brazil-past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3-4: p. 1189-1200, 2016.

MATOS, R. M.; SILVA, J. A. S.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática para a cultura do feijão caupi do município de Barbalha - CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n.6, p.422-431, 2014.

MEDEIROS, R. M.; AZEVEDO, P. V.; SABOYA, L. M. F. Classificação climática e zoneamento agroclimático para o município de Amarante-PI. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, n.2, p.170-180, 2013.

PARR, J. F.; STEWART, B. A.; ORNICK, S. B.; SINGH, R. P. Improving the sustainability of dryland farming system: a global perspective. In: **ADVANCES IN SOIL SCIENCE**, v. 13, p. 1-7, 1990.

RÁPALO, L. M. C.; ULIANA, E. M.; MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D.; RIBEIRO, C. B. M.; CRUZ, I. F.; PEREIRA, D. R. Effects of land-use and-cover changes on streamflow regime in the Brazilian Savannah. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v.38, 100934, 2021.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; BRAGA, S. E.; SILVA, A. K. P. M. Análises, Flutuações e Impactos Climáticos no Povoado Ribeira de Cabaceiras – Paraíba, Brasil. EDUFRRPE. 2026.

REGOTO, P.; DEREZCZYNSKI, C.; CHOU, S. C.; BAZZANELA, A. C. Observed changes in air temperature and precipitation extremes over Brazil. **International Journal of Climatology**, 41, 5125–5142. 2021.

SALES, M. C. L.; RAMOS, V. M. Caracterização ambiental das áreas sob influência do reservatório de Bocaina (PI) com base na compartimentação geomorfológica. **Carta CEPRO**, v. 18, p. 149-161, 2000.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semiárida. **In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 26, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro. CD-ROOM. 1997.

SANTOS, A. L. S.; SILVA, H. S. D.; SILVA, J. R. S.; STOSIC, T. Propriedades Multifractais da Temperatura do ar do Ar Diária no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.34, n.1, p.23-31, 2019.

SANTOS, E. F. N.; BARRETO, I. D. C.; BARBOSA, E. A. S.; CAMPOS, L.; SILVA, A. S. A. Contribuição das técnicas multivariadas a índices de seca na compreensão das otto-regiões da bacia do São Francisco. **Research, Society and Development**, v.10, n.3, p.e7210313118, 2021

SILVA, A. M.; COSTA, D. L. C. R.; LINS, C. J. C. Precipitações no Nordeste Brasileiro: tendências de variação e possíveis implicações na agricultura. **In: SEMANA DO MEIO AMBIENTE**, 5., 2008, Recife. *Anais...* Recife, 2008.

SOARES, A. S. D.; PAZ, A. R.; PICCILLI, D. G. A. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 21, n. 2, p. 288-299, 2016.

SORIANO, B. M. A. **Caracterização climática de Corumbá – MS**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, (Boletim de Pesquisa, p. 25). 1997.

SOUZA, S. O.; CORREA, W. de S. C.; FILETI, R. B.; VALE, C. C. do. Balanço hídrico da bacia hidrográfica do Rio Caravelas (BA) como subsídio ao planejamento agrícola. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 1, p. 83-92, 2014.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review** 38, 55-94. 10.2307/210739. 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publication in Climatology**, n.8, Laboratory of Climatology, Centerton, N. J. 1955.

TOLEDO, J. V.; MARTINS, L. D.; KLIPPEL, V. H.; PEZZOPANE, J. E. M.; TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T. Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão manso (*Jatropha Curcas* L.) e da mamona (*Ricinus Communis* L.) no estado do Espírito Santo. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 05, p. 41-51, 2009.

INFORMAÇÕES DOS AUTORES

Romildo Morant de Holanda

Doutor em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP) e em Psicologia pelo Centro Universitário Maurício de Nassau (UNINASSAU). É especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e em Gestão da Qualidade na Construção Civil pela Universidade de Pernambuco (UPE). Atualmente, é coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental (PPEAMB/UFRPE) e professor das disciplinas Materiais de Construção, Construções Sustentáveis, Gestão da Qualidade, Gestão da Produção, Higiene e Segurança do Trabalho e Gerenciamento de Resíduos Industriais. Tem experiência nas áreas de garantia e controle de qualidade, redução de desperdício na indústria da construção, sistemas integrados de gestão, gestão e reaproveitamento de resíduos, reuso de água, planejamento físico-financeiro e orçamentário, além de custos ocultos. Seus campos de pesquisa incluem gerenciamento de resíduos industriais, gestão de recursos naturais, inovações tecnológicas, novos materiais, sustentabilidade, desperdício e eficácia de processos e sistemas. Líder do grupo de pesquisa CITAR – Centro de Inovação Tecnológica Aplicada aos Recursos Naturais (UFRPE), registrado no CNPq.

Raimundo Mainar de Medeiros

Pós-doutor e ex-pesquisador da Universidade Federal Rural de Pernambuco (2016–2018). Doutor em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande (2016), mestre em Meteorologia (1990) e graduado em Meteorologia (1985) pela Universidade Federal da Paraíba. Possui especialização em Gestão de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (2005) e em Ciências Ambientais (2003), ambas pela Universidade Federal do Piauí. Tem ampla experiência na área de Geociências, com ênfase em Meteorologia Dinâmica e Sinótica, atuando principalmente em temas como vapor d'água, água precipitável, divergência atmosférica, interpretação de imagens de satélite e previsão do tempo. No campo profissional, exerceu o cargo de Gerente de Hidrometeorologia (símbolo DAS-3) na Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí, de 6 de outubro de 2003 a 31 de dezembro de 2010. Prestou serviços à Secretaria do Desenvolvimento Rural – SDR, no Departamento de Hidrometeorologia, entre 1º de janeiro de 1995 e 31 de dezembro de 1999. Foi bolsista RHEA do CNPq no Departamento de Hidrometeorologia do Estado do Piauí entre 1990 e 1994. Possui experiência em instalação, manutenção e operação de Plataformas de Coleta de Dados (PCDs), aplicação de regressão múltipla, preenchimento de falhas e consistência de dados meteorológicos. Realizou estudos climatológicos para diversas finalidades, incluindo: construção de pontes; barragens de pequeno, médio e grande porte; adutoras; floricultura; piscicultura; apicultura; carcinicultura; olericultura; hortaliças; contenção de dunas; urbanização; reflorestamento; produção agrícola; zoneamento e aptidão agrícola; instalação de postos de combustível; projetos de esgotamento sanitário; abastecimento; abatedouros; geração de biodiesel; aeródromos e elaboração de boletins agrometeorológicos.

Salatiel Ewen Braga

Doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Possui Mestrado Acadêmico em Engenharia Ambiental (UFRPE) e graduação em Agronomia (UFRPE). É especialista em Engenharia Ambiental e Saneamento Básico, e em Auditoria, Perícia e Licenciamento Ambiental, ambas pela Anhanguera Educacional. Tem formação técnica em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) e em Edificações pelo Grau Técnico.

Ana Karolina Peres de Melo Silva

Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Mestre em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Pernambuco (IFPE, 2022), graduada em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2016) e especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (2019). Atua na área de Assistência Técnica e Extensão Rural, com foco em recursos hídricos e sustentabilidade, prestando assessoria técnica para os setores público e privado. Possui experiência em Engenharia com ênfase em gestão de projetos, desenvolvendo trabalhos nas áreas de solo, dessalinização e gestão de recursos hídricos.

