

EVOLUÇÃO HISTÓRICA DE ANOMALIAS DE CHUVA E ARIDEZ NO SEMIÁRIDO: O CASO DO MUNICÍPIO DE CRATEÚS, CEARÁ

ERIKA ROANNA DA SILVA¹ E GLÁUBER PONTES RODRIGUES²

¹ Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Av. Mister Hull, s/n - Pici - CEP 60455-760 - Fortaleza - CE, Brasil, roannasilva18@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-0484-8576>..

² Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará; Av. Mister Hull, s/n - Pici - CEP 60455-760 - Fortaleza – CE, Brasil, pontesglauber@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7427-6104>

RESUMO: A região dos Inhamuns, no sertão do Ceará, caracteriza-se por um clima semiárido, marcado por uma alta variabilidade pluviométrica e frequentes períodos de seca. Este estudo tem como objetivo analisar a evolução histórica das anomalias de chuva e do índice de aridez na região, considerando o impacto das variações climáticas e dos fenômenos naturais sobre a dinâmica da precipitação ao longo das últimas décadas. Foram utilizados dados históricos de precipitação e temperatura para calcular o índice de aridez de Thornthwaite, a fim de traçar a evolução desses parâmetros no contexto das mudanças climáticas. Os resultados indicam um aumento na frequência de anomalias de chuva e uma intensificação dos períodos de aridez, o que reflete a vulnerabilidade da região às oscilações climáticas e ressalta a importância de estratégias de adaptação e mitigação.

Palavras-chaves: IAC, Índice de Aridez, Mudanças climáticas.

HISTORICAL EVOLUTION OF RAINFALL ANOMALIES AND ARIDITY IN THE SEMI-ARID REGION: THE CASE OF CRATEÚS, CEARÁ

ABSTRACT: The Inhamuns region, in Ceará, is characterized by a semiarid climate characterized by high rainfall variability and frequent droughts. This study aims to analyze the historical evolution of rainfall anomalies and the aridity index in the region, considering the impacts of climatic variations and natural phenomena on precipitation dynamics over recent decades. Historical precipitation and temperature data were used to calculate the Thornthwaite aridity index, mapping the evolution of these parameters in the context of climate change. The results indicate an increase in rainfall anomalies and intensified aridity periods, highlighting the region's vulnerability to climate fluctuations and underscoring the importance of adaptation and mitigation strategies.

Keywords: RAI, Aridity index, Climate Change.

1 INTRODUÇÃO

O nordeste brasileiro tem a seca como um aspecto climático dominante, resultante da distribuição desigual de chuvas no tempo e no espaço (Sousa, 2023). Esse cenário torna essencial o monitoramento pluviométrico, especialmente em regiões semiáridas como os Inhamuns, Ceará, onde a disponibilidade de água depende diretamente do nível dos rios e reservatórios, essenciais para o abastecimento local.

Nos Inhamuns, o clima semiárido combina baixa precipitação média anual e alta variabilidade, com chuvas concentradas alternando-se com longas estiagens. Esse padrão evidencia a importância de estudar anomalias de precipitação e condições de aridez para entender seus efeitos na disponibilidade hídrica e resiliência agrícola (Aderaldo; Amorim; Nery, 2023).

Para avaliar a aridez e a restrição hídrica, o Índice de Aridez (IA) é amplamente utilizado, calculado pela relação entre precipitação e evapotranspiração potencial

(ETP), refletindo o nível de secura ambiental. Além disso, o Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) é um indicador chave para analisar mudanças no regime de precipitação, facilitando comparações temporais (França *et al.*, 2020; Jarrar *et al.*, 2023).

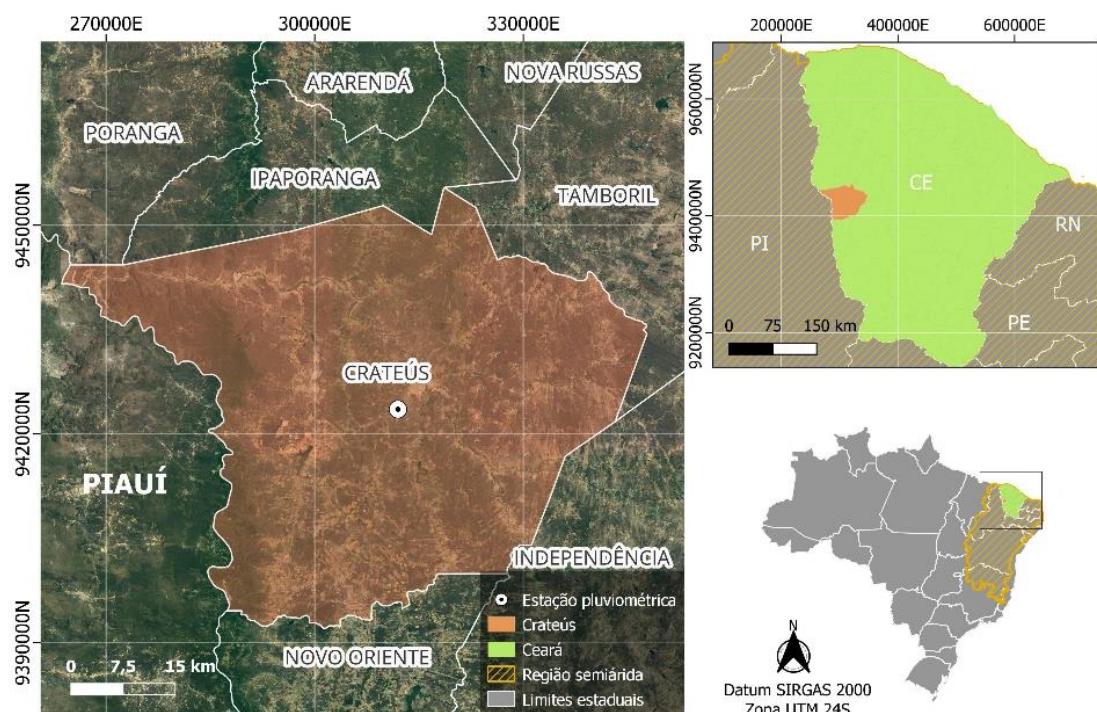
Este estudo, portanto, objetiva identificar a variação temporal do Índice de Aridez e do Índice de Anomalia de Chuvas para o município de Crateús, no semiárido cearense.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foca em Crateús, no Sertão dos Inhamuns, Ceará (Figura 1), que engloba 16 municípios em 26.227,3 km², representando 17,6% do território do estado. Com densidade populacional de 15,7/km², abaixo da média estadual de 55,2/km², as cidades de Crateús e Tauá são os principais centros de serviços. A precipitação média anual de Crateús é de 600 mm, concentrada de janeiro a abril, com evapotranspiração potencial de 1.900 mm e temperatura média de 28°C (INMET, 2024).

Figura 1. Localização da área de estudo e do posto pluviométrico.



Fonte: Autores (2024)

2.2 Coleta de dados

Para a análise da evolução das anomalias de chuva e aridez, foram coletados

dados pluviométricos e de temperatura da região dos Inhamuns de uma estação em Crateús (Tabela 1).

Tabela 1. Dados da estação meteorológica utilizada para cálculos dos índices.

Código	Operadora	Período Temperatura	Período Precipitação	Lat.	Lon.
540020	DNOCS/ FUNCME	1963 a 2018	1911 a 2023	-5.210	-40.703

Fonte: Autores (2024)

2.3 Índices de Aridez (IA) e Índice de Anomalias de Chuva (IAC)

O Índice de Aridez (IA, Eq. 1), baseado na equação de Thornthwaite (1948) usa dados de precipitação e evapotranspiração potencial para classificar o clima e identificar tendências de aridez, destacando-se pelo uso de variáveis quantitativas e aplicabilidade para ambientes secos.

$$IA = \frac{P}{ETP} \quad (1)$$

Em que: P = precipitação total anual (mm) e ETP = Evapotranspiração Potencial Anual (mm)

Matallo Júnior (2003), propõe uma classificação climática para vários climas do planeta que auxiliam na análise de susceptibilidade à desertificação, como ilustrado a seguir.

Tabela 2. Classificação da Susceptibilidade à Desertificação, em Função do Índice de Aridez.

Classe	Índice de Aridez (IA)
Úmido	> 1,0
Sub-úmido úmido	0,66 – 1,0
Sub-úmido seco	0,51 – 0,65
Semiárido	0,21 – 0,50
Árido	0,03 – 0,20
Hiperárido	< 0,03

Fonte: Autores (2024)

A ETP foi obtida utilizando a fórmula proposta por Thornthwaite (1948), que considera a temperatura média (T) e um fator de correção (α) que varia conforme a estação do ano. A ETP é calculada como:

$$ETP_{mês} = 16 \cdot \left(\frac{10 \cdot T_m}{I} \right)^\alpha \quad (2)$$

Em que: ETP = evapotranspiração potencial (em mm); T_m é a temperatura média mensal em

$^{\circ}C$; I é o índice anual de calor, que depende da temperatura e é calculado como a soma dos índices mensais:

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_{m,i}}{5} \right)^{1,514} \quad (3)$$

O termo α é um coeficiente empírico dependente de I, calculado como:

$$\alpha = 6,75 \times 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \times 10^{-2} \cdot I + 0,49239 \quad (4)$$

A ETP mensal calculada é ajustada por um fator que considera o comprimento médio do dia, o que reflete as variações sazonais e latitudinais na radiação solar. Este ajuste está incluído no parâmetro α , fundamental para a estimativa da ETP de acordo com Thornthwaite (1948).

Para analisar a frequência e intensidade dos anos secos de acordo com a média local, foram calculadas as médias temporais da precipitação para o período 1911 a 2023 empregando o Índice de Anomalia de Chuva, desenvolvido e testado por Rooy (1965). Esse índice mostra menor complexidade quando comparado a outros, partindo apenas dos dados

de pluviometria. Para esse estudo, foram utilizadas as seguintes equações adaptadas para o Nordeste do Brasil por Freitas (1998).

$$IAC = 3 \cdot \left[\frac{N - \bar{N}}{M - \bar{N}} \right] \quad (5)$$

$$IAC = -3 \cdot \left[\frac{N - \bar{N}}{X - \bar{N}} \right] \quad (6)$$

Em que: N é a precipitação anual observada (mm); \bar{N} é a precipitação média anual da série histórica (mm); M é a média das dez maiores precipitações anuais da série histórica (mm); X é a média das dez menores precipitações anuais da série histórica (mm). As anomalias positivas

(Eq. 5) são valores acima da média e as negativas (Eq. 6), abaixo da média, podendo-se

avaliar sua classificação conforme a Tabela 3 (Araújo; Moraes Neto; Sousa, 2009).

Tabela 3. Classificação da Susceptibilidade à Desertificação, em Função do Índice de Aridez.

Faixa do Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	Classificação de intensidade
> 4	Extremamente úmido
2 a 4	Muito úmido
0 a 2	Úmido
- 2 a 0	Seco
- 4 a -2	Muito seco
< - 4	Extremamente seco

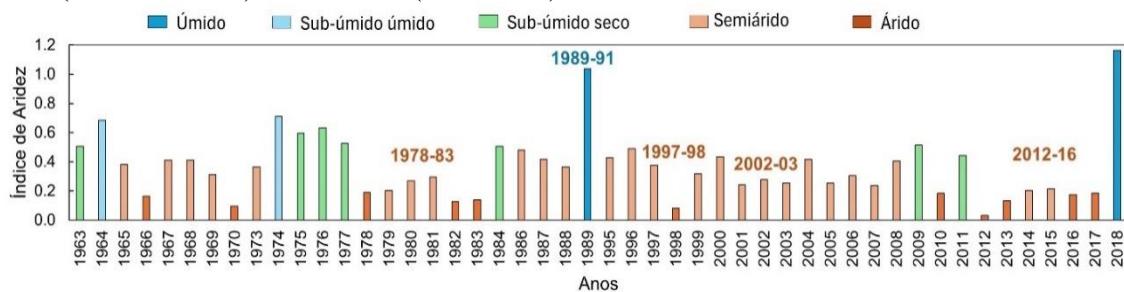
Fonte: Autores (2024)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise evidencia que durante a quadra chuvosa (janeiro a abril) observou-se uma variação significativa: em janeiro, a evapotranspiração foi elevada devido à resposta dos solos secos às primeiras chuvas, mas apresentou declínio gradual até abril, provavelmente devido à saturação do solo e ao

aumento da umidade, reduzindo a perda hídrica (Freire; Lima; Cavalcanti, 2011). A análise do IA indicou predominância de condições semiáridas (27 ocorrências) e áridas (11 ocorrências), com a maioria dos valores de IA entre 0,05 e 0,50, caracterizando o clima árido da região e evidenciando a recorrente escassez hídrica. A Figura 2 ilustra essa classificação ao longo do período estudado.

Figura 2. Índice de Aridez histórico para Crateús; com destaque aos períodos de secas históricas (fonte marrom) e de cheias (fonte azul).

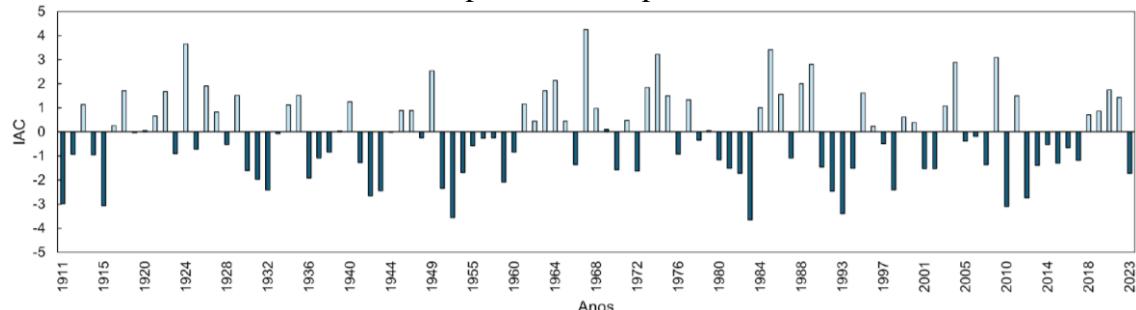


Fonte: Autores (2024)

Os anos classificados como úmidos (1989 e 2018) explicam-se possivelmente a fenômenos climáticos globais como o El Niño, que intensifica as chuvas no Nordeste do Brasil (Costa, 2012). Em contraste, anos de seca extrema, classificados como áridos e hiperáridos, intensificam a vulnerabilidade hídrica e socioeconômica local, ressaltando a importância do monitoramento constante para

mitigar impactos na agricultura e na disponibilidade hídrica. Cavacante (2023) menciona obras hídricas no sertão dos Inhamuns, promovidas pelo Programa de Emergência durante a seca de 1978-1983. A Figura 3 ilustra períodos secos e úmidos entre 1911 e 2023, destacando momentos de maior intensidade e duração.

Figura 3. Índice de Anomalia de Chuvas para o município de Crateús



Fonte: Autores (2024)

Valores positivos de IAC representam anos úmidos, enquanto valores negativos indicam anos secos. No período total, houve 47 anos de IAC positivo e 65 de IAC negativo, evidenciando a variabilidade climática regional. No primeiro quartil (1911-1938), predominaram ligeiramente os anos úmidos (15 anos com IAC positivo contra 12 secos), refletindo um equilíbrio, mas ainda com grande alternância entre períodos chuvosos e secos. No período entre 1967 e 1994, verificou-se uma leve mudança com 12 anos úmidos e anomalias mais intensas, destacando-se o valor extremo de 4,25 em 1967, indicando um ano excepcionalmente chuvoso e provavelmente associado a condições atmosféricas que favoreceram chuvas intensas, com possíveis implicações para a recarga hídrica e risco de enchentes e erosão (Araújo; Moraes Neto; Sousa, 2009).

4 CONCLUSÕES

A análise das anomalias de chuva e do índice de aridez na região dos Inhamuns indica uma intensificação das condições áridas e da variabilidade climática. A correlação entre eventos de El Niño e La Niña e a dinâmica da precipitação destaca a importância do monitoramento climático e de estratégias de adaptação para reduzir os impactos das mudanças climáticas. Medidas como gestão eficiente de recursos hídricos, práticas agrícolas sustentáveis e políticas públicas voltadas à mitigação dos efeitos das secas são essenciais para a resiliência regional.

5 REFERÊNCIAS

ADERALDO, P. I. C.; AMORIM, R. R.; NERY, J. T. Orografia e sua influência para formação do núcleo desertificado nos Inhamuns. **Mercator**, Fortaleza, v. 22, p. e22005, 2023.

ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Análise climática da bacia do rio Paraíba - índice de anomalia de chuva (IAC). **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p. 508-523, 2009.

CAVACANTE, L. V. (org.) **História dos sertões**: a terra e a água. Caicó: Criação Editora, 2023.

COSTA, J. A. A. O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil. **Revista Científica do Instituto Federal de Alagoas**, Maceió, v. 3, n. 1, p. 71-82, 2012.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; ARAÚJO, W. R.; HOLANDA, R. M. Variabilidade dos índices de aridez e aplicabilidade da equação de perda de solo no município de Amparo de São Francisco-Sergipe, Brasil. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 10, p. e5609108756, 2020.

FREIRE, J. L. M.; LIMA, J. R. A.; CAVALCANTI, E. P. Análise de aspectos meteorológicos sobre o Nordeste do Brasil em anos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 3, n. 1, p. 429-444, 2011.

FREITAS, M. A. S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semiáridas. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 19, n. 1, p. 19-30, 1998.

INMET. **Dados históricos anuais**. Brasília, DF: Inmet, 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 25 out. 2024.

JARRAR, H.; EL-KEBLAWY, A.; GHENAI, C.; ABHILASH, P. C.; BUNDELA, A. K.; ABIDEEN, Z.; SHETEIWY, M. S. Seed enhancement technologies for sustainable dryland restoration: coating and scarification. **Science of the Total Environment**, Amsterdã, v. 904, article 166150, p. 1-12, 2023.

MATALLO JUNIOR, H. A. Desertificação no mundo e no Brasil. In: SCHENKEL, C. S.; MATALLO JUNIOR, H. (org.).

Desertificação. Brasília, DF: UNESCO, 1999. p. 9-25.

ROOY, M. P. V. A rainfall anomaly index independent of time and space. **Notos**: Weather Bureau of South Africa, Pretoria, v. 14, p. 43-48, 1965.

SOUSA, L. B.; ASSUNÇÃO MONTENEGRO, A. A.; SILVA, M. V.; ALMEIDA, T. A. B.; CARVALHO, A. A.; SILVA, T. G. F.; LIMA, J. L. M. P. Spatiotemporal analysis of rainfall and droughts in a semiarid basin of Brazil: land use and land cover dynamics. **Remote Sensing**, Cidade, v. 15, n. 10, article 2550, p. 1-25, 2023.

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