

## ANÁLISE DAS CAUSAS CLIMÁTICAS SOBRE O NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DE IRAUÇUBA-CE

ANALYSIS OF CLIMATE CAUSES ON THE DESERTIFICATION NUCLEUS OF IRAUÇUBA-CE

**Maria José da SILVA LIMA, Djane Fonseca da SILVA, Maria Luciene Dias de MELO,  
Jório Bezerra CABRAL JÚNIOR**

Universidade Federal de Alagoas, Avenida Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins. Maceió – AL.  
E-mails: maria.lima@icat.ufal.br; djane.silva@icat.ufal.br; maria.melo@icat.ufal.br; jorio.cabral@gmail.com

Introdução  
Materiais e métodos  
  Área de estudo  
  Dados  
  Comparação entre precipitação e média climatológica  
  Índice de Anomalia de Chuva (IAC)  
  Tendências Mann-Kendall  
  Teste de significância de T-Student  
  Análise de Ondeletas (AO), Ondaletas ou Wavelets  
  Coerência e fase da ondaleta  
Resultados e Discussão  
  Análise climatológica  
  Comparação entre precipitação e média climatológica de Irauçuba  
  Classificação dos eventos secos e chuvosos utilizando o IAC  
  Tendência climática por Mann-Kendall  
  Identificação das causas climáticas  
  Análise das ondaletas cruzadas para precipitação  
Conclusões  
Referências

**RESUMO** - Processos de desertificação no Brasil ocorrem especialmente em áreas do Nordeste e as condições climáticas são as que mais contribuem para isso. O objetivo principal neste trabalho foi analisar as possíveis causas climáticas que influenciam o processo de desertificação em Irauçuba-CE. Para isso, foram utilizados dados mensais de precipitação e temperatura do ar do referido município, cedidos pela FUNCEME, para o período de 1981 a 2020. A quadra chuvosa em Irauçuba compreende o período de janeiro a abril, sendo o mês de março o de máximo registro de precipitação. Os máximos de precipitação estão entre 100 mm a 432,50 mm e os máximos de temperaturas entre 28,2°C a 29,9°C. Ocorreram mais anos secos que anos úmidos. Foram detectadas tendências de diminuição na precipitação indicando que as chuvas que ocorreram na localidade vêm diminuindo gradativamente ao longo do tempo, com tendências na série de -0,9078. Enquanto a temperatura tende a aumentar, com tendência na série de 0,0833 sem significância estatística conforme o teste T-Student. A análise de ondaletas sugere que precipitação e a temperatura foram influenciadas pelas escalas: sazonal, ENOS estendido, Manchas solares e Dipolo do Atlântico, e a Oscilação Interdecadal do Pacífico influenciou apenas a série de temperatura. Nas análises de ondaletas cruzadas ocorreu maior coerência na escala de 8 anos, indicando que o máximo de precipitação ocorre 3 anos antes do máximo do Dipolo do Atlântico.

**Palavras-chave:** ENOS. Nordeste do Brasil. Ondaleta Cruzada.

**ABSTRACT** - Desertification processes in Brazil occur especially in areas of the Northeast and climatic conditions are the ones that most contribute to this. The main objective of this work was to analyze the possible climatic causes that influence the desertification process in Irauçuba-CE. For this, monthly precipitation and air temperature data for the municipality were used, provided by FUNCEME, for the period 1981 to 2020. The rainy season in Irauçuba comprises the period from January to April, with the month of March being the maximum month, precipitation record. The maximum precipitation is between 100 mm to 432.50 mm and the maximum temperature between 28.2°C to 29.9°C. There were more dry years than wet years. Decreasing trends in precipitation were detected, indicating that the rainfall that occurred in the locality has been decreasing gradually over time, with trends in the series of -0.9078. While the temperature tends to increase, with a trend in the series of 0.0833 without statistical significance according to the T-Student test. Wavelet analysis suggests that precipitation and temperature were influenced by the following scales: seasonal, extended ENSO, Sunspots and Atlantic Dipole, and the Pacific Interdecadal Oscillation influenced only the temperature series. In the cross-wavelet analyses, there was greater coherence at the 8-year scale, indicating that the maximum precipitation occurs 3 years before the Atlantic Dipole maximum.

**Keywords:** ENOS. Brazil Northeast. Cross Wave.

### INTRODUÇÃO

A desertificação é um processo de modificações degradantes dos solos, do regime hídrico e da vegetação, acarretando na deterioração biológica dos ecossistemas, levando-os a aspectos desérticos, que por vezes intensifica condição de

irreversibilidade, em decorrência das variações climáticas e atividades antrópicas, em ações conjuntas e/ou separadas (CGEE, 2016). Esse processo é mais comum em regiões áridas, semi-áridas e subúmidas secas. No Brasil, esse processo

se limita ao Semiárido Brasileiro, especialmente em alguns estados do Nordeste, além de Minas Gerais e Espírito Santo (MMA, 2020).

O fenômeno de desertificação no Nordeste brasileiro está ligado a condições geoambientais, tipos de solos, substrato rochoso, além de feições geomorfológicas, clima e vegetação.

Os efeitos da desertificação podem resultar de causas naturais somadas às antrópicas, decorrentes de excessivas explorações socioeconômicas, dentre elas cita-se o desmatamento, compactação do solo, queimadas, superpastoreio, entre outros (Santos & Aquino, 2016; CGEE, 2016).

O processo de desertificação observado no Núcleo de Desertificação (ND) do Estado do Ceará está relacionado com a vulnerabilidade ambiental e ocupação exacerbada nos sistemas ambientais, contribuindo com a degradação da biodiversidade, a diminuição da disponibilidade hídrica, assoreamento de reservatórios dos vales, entre outros (CEARÁ, 2005).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

O Núcleo de desertificação de Irauçuba (Figura 1) está situado no noroeste do Estado do Ceará e compreende uma área de 4.000 km<sup>2</sup>, incluindo os municípios de Irauçuba, Forquilha e Sobral.

A quadra chuvosa estende-se de janeiro a abril, e o mês de março apresenta os maiores valores pluviométricos; enquanto entre os meses de maio a dezembro são os mais secos, quando ocorre forte diminuição na quantidade pluviométrica. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é a principal responsável pela distribuição temporal das chuvas em latitudes próximas à linha do Equador, como por exemplo, o estado do Ceará.

### Dados

Os dados pluviométricos mensais foram disponibilizados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) para a localidade de Irauçuba (CE) com período de 1981-2020. A fonte dos dados de temperatura média do ar é do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponível em <http://www.inmet.gov.br>

Na análise da Ondaleta Cruzada o período utilizado corresponde à média da região do núcleo de desertificação de Irauçuba (CE), visando aumentar o período de dados, pois se faz

É de extrema importância a abordagem climática para estudos sobre desertificação, principalmente em relação aos aspectos pluviométricos, responsáveis pela formação ou ampliação desse fenômeno de degradação ambiental (Silva, 2017), visto que o fator natural, precipitação, é o condicionante mais importante, que somado à ação humana degradante, promove a continuidade do processo, sua persistência e até mesmo sua expansão temporal e espacial.

Segundo o MMA (2020) são 1.480 municípios com áreas suscetíveis a desertificação no Brasil, o que representa 16% do território brasileiro, áreas que compreendem cerca de 85% da pobreza do país. Tendo em vista a permanência e tendência de expansão desses núcleos de desertificação, compreender as causas climáticas que mais agravam e corroboram com esse processo traz condições para mitigar os avanços nesses locais e em outros ainda não atingidos severamente, contribuindo para melhoria da qualidade de vida da população que vive nessas áreas.

necessário um longo período de dados na utilização dessa análise (Blain & Kayano, 2011).

Foram obtidos os dados de índices climáticos Dipolo do Atlântico (DA), para o período de 1981 a 2020. Para representar a variabilidade do Dipolo do Atlântico foi utilizado o índice do Modo Meridional do Atlântico (AMM), que descreve a variabilidade meridional no Oceano Atlântico tropical. Os dados do Índice AMM SST foram obtidos através do site da National Oceanic and Atmospheric Administration: <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>.

### Comparação entre valores de precipitação e média climatológica

Essa etapa consiste em comparar valores mensais e a média climatológica. Para isso foi realizada a diferença entre esses dados, e assim pode-se visualizar os anos que estiveram acima ou abaixo da média. A representação se dá através de gráficos de colunas, onde valores negativos sugerem que a precipitação mensal foi menor que a média climatológica, e valores positivos significam que o valor mensal é acima da média. Ainda neste item, gráficos do valor mensal com seu desvio padrão são mostrados na tentativa de visualizar qual seria o valor máximo que pode ocorrer em cada mês, além do mês com possibilidade de ocorrência de valor distante da média ou do esperado.



**Figura 1** - Localização geográfica das Áreas Suscetíveis a Desertificação (ASD) do núcleo de Irauçuba, Centro-Norte do estado do Ceará (Fonte: Carvalho et al., 2015).

### Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

O IAC classifica e compreende o regime pluviométrico em relação a intensidade dos períodos secos e chuvosos, possibilitando a realização de comparações do regime pluviométrico através de uma série de dados históricos de chuvas (Santos & Aquino, 2016). O *Rainfall Anomaly Index* (RAI) ou Índice de Anomalia de Chuva (IAC) foi proposto e utilizado por Rooy (1965) e Da Silva (2009). O IAC é dado pelo cálculo conforme as equações a seguir:

$$IAC = 3 \left[ \frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right], \quad (1)$$

$$IAC = -3 \left[ \frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right], \quad (2)$$

Equação 1 para anomalias positivas e equação 2 para anomalias negativas.

Sendo:  $N$  = precipitação atual, mensal ou anual, ou seja, do mês ou ano que será gerado o IAC (mm);  $\bar{N}$  = precipitação média mensal ou anual da série histórica (mm);  $\bar{M}$  = média das dez maiores precipitações mensais ou anuais da série histórica (mm);  $\bar{X}$  = média das dez menores

precipitações mensais ou anuais da série histórica (mm); e anomalias positivas são valores acima da média e negativas, abaixo da média.

### Tendências Mann Kendall

O teste é indicado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliação de tendências significativas em séries dados temporais compatíveis com aplicações ambientais, é um teste não paramétrico. Esse teste foi proposto a princípio por Mann (1945), posteriormente melhorado por Kendall (1975), gerando a relação estatística. É amplamente utilizado para testar tendências em séries temporais hidrológicas e climatológicas (Xu, et al., 2005; Bi et al., 2009; Silva et al., 2010; Blain & Kayano, 2011).

A estatística do teste é descrita como:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{Sign}(\chi_i - \chi_j) \quad (3)$$

Em que:  $\chi_j$  são os dados estimados da sequência de valores,  $n$  é o comprimento da série temporal e o sinal  $(\chi_i - \chi_j)$  é igual a -1 para  $(\chi_i - \chi_j) < 0$ , 0 para  $(\chi_i - \chi_j) = 0$ , e 1 para  $(\chi_i - \chi_j) > 0$ .

O teste estatístico parametrizado ( $Z_{MK}$ ) é descrito pela seguinte equação:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{para } S > 0; \\ 0 & \text{para } S = 0; \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{para } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

A presença de uma tendência estatisticamente significativa é avaliada usando o valor de  $Z$ . Essa estatística é usada para testar a hipótese nula, ou seja, que não existe tendência. Um valor positivo de  $Z_{MK}$  indica um aumento da tendência; quando negativa, indica uma tendência decrescente. Para testar a tendência crescente ou decrescente no nível de significância de  $p$ , a hipótese nula é rejeitada se o valor absoluto de  $Z$  for maior que  $Z_{1-p/2}$ , utilizando-se a tabela da distribuição normal cumulativa padrão (Silva et al., 2010). Os níveis de significância de  $p = 0,01$  e  $0,05$  foram adotados neste estudo. Uma estimativa não paramétrica para o valor da inclinação da tendência é dada por:

$$\beta = \text{Median} \left[ \frac{\chi^i - \chi^j}{j-i} \right] \text{ para } i < j \quad (5)$$

Em que  $\chi^j$  e  $\chi^i$  são os pontos dados medidos no tempo  $j$  e  $i$ , respectivamente.

Esse método também foi utilizado conforme descrito por Xu et al. (2005); Bi et al. (2009); Blain (2009); Da Silva (2009); Silva et al. (2010); Blain & Kayano (2011); Nóbrega et al. (2016); Da Silva (2017); Lima et al. (2019); Bonfim et al. (2020).

### Teste de Significância de T-Student

Para amostras de tamanho  $N > 30$ , que são chamadas de grandes amostras, as distribuições das amostras de diversas estatísticas são quase normais e melhores com o crescimento de  $N$ . Já para amostras com tamanho  $N < 30$ , que são as pequenas amostras, as distribuições amostrais de diversas estatísticas são ruins, e tornam-se piores com o decréscimo de  $N$ , de tal forma que devem ser introduzidas as modificações adequadas. Um dos testes de significância mais empregado é o “T-Student”, sendo amplamente utilizado nos estudos em pesquisas na área da meteorologia (Kayano & Kousky, 1996; Figueroa, 1997; Castro, 2002; Da Silva, 2009; Souza Neto, 2019; Bonfim et al., 2020), sendo descrita conforme a equação 6:

$$tc = \frac{t}{\sqrt{n-2}} + t^2 \quad (6)$$

Em que:  $t_c$  = valor do percentil e é o grau de liberdade. Foi usado  $p = 0,95$  ou 95%;  $t$  = valor do percentil tabelado de acordo com  $v (n-1)$ ;  $n$  é o número de dados.

### Análise de Ondeletas (AO), Ondaletas ou Wavelets

As análises preliminares de ondaletas proporcionam uma indicação mais ampla e mais clara de quais escalas temporais predominam os sistemas/fenômeno meteorológicos ao longo de toda série. Primeiramente os índices de precipitação serão tratados, depois serão submetidos à AO. Esses índices são anomalias das variáveis, calculadas a partir da climatologia mensal e normalizados pelos desvios padrão (Da Silva, 2017):

$$AVari_{i,j} = \frac{(Vari_{i,j} - \overline{Vari}_i)}{\sigma_i} \quad (7)$$

Em que:  $AVari_{i,j}$  é a anomalia normalizada da variável no ano  $j = 1, 2, 3, \dots, N$  e mês  $i = 1, 2, 3, \dots, 12$ ;  $Vari_{i,j}$  é variável no ano  $j = 1, 2, 3, \dots, N$  e mês  $i = 1, 2, 3, \dots, 12$ , a qual foi calculada sua anomalia;  $\overline{Vari}_i$  é a média climatológica do mês a ser calculado a anomalia e  $\sigma_i$  é o desvio padrão utilizado para cada mês  $i$  específico.

Desta maneira será feita a escolha da função da ondeleta, conforme Blain & Kayano (2011), Da Silva (2017) e a ondeleta Morlet representa uma onda modulada por um envelope Gaussiano. É dada pela seguinte expressão:

$$\Psi(t) = e^{-i\omega_0 t} e^{-\eta^2/2} \quad (8)$$

Em que  $\eta = t/s$ , onde  $t$  é o tempo,  $s$  é a escala da ondaleta em função do tempo ( $= 2/dt$ ) e  $\omega_0$  é uma frequência não-dimensional ( $\text{lag}1 = 0,7$ ), escolhidos conforme Andreoli et al. (2004), todos introduzidos no “script” de programação do Software Matlab®.

### Coerência e fase da Ondaleta

A ondaleta cruzada é bastante eficaz para destacar regiões de energia simultâneas entre dois sinais no domínio da ondaleta determinando assim a fase relativa entre esses sinais (Vale et al., 2020).

O espectro cruzado da ondaleta é definido como (Grinsted et al., 2004):

$$w^{xy}(t, s) = w^x(t, s)w^{y*}(t, s) \quad (9)$$

Em que (\*) é o complexo conjugado.

A análise da coerência da ondaleta é aplicada para permitir a identificação das bandas de frequências e intervalos de tempo nos quais ambas

as séries estão relacionadas (Tang et al., 2014). Pode-se definir a coerência da ondaleta como a razão entre o quadrado do espectro cruzado normalizado e o espectro de potência de ondaleta individual (Nóbrega, 2019), resultando na correlação cruzada entre as duas séries históricas em função da frequência, sendo a variação desses valores compreendida entre 0 a 1 (Grinsted et al., 2004).

A análise da coerência da ondaleta de duas séries temporais X e Y é descrita conforme a equação 10 (Torrence & Webster, 1999; Grinsted et al., 2004):

$$R_n^2(s) = \frac{|S(s^{-1}w_n^X(s))^2|}{S(s^{-1}|w_n^X(s)|^2)S(s^{-1}|w_n^Y(s)|^2)} \quad (10)$$

Em que:  $R_n$  é a coerência e  $S$  é um operador de suavização.

As relações de fases ou defasagens entre as séries temporais são representadas pelo ângulo

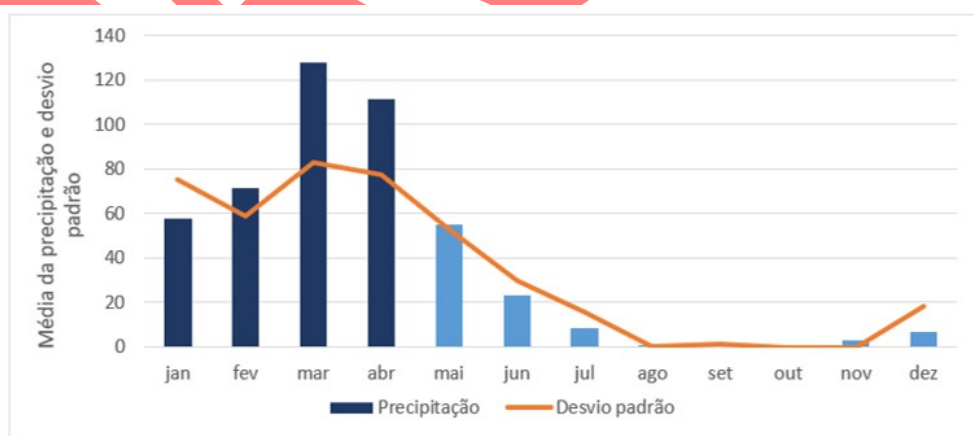
de inclinação dos vetores. Setas orientadas na horizontal apontadas para a direita ( $0^\circ$ ) indicam que as séries estão em fase; tem-se as séries em fases opostas quando as setas estão orientadas para a esquerda ( $180^\circ$ ). Para ângulos negativos entre  $0^\circ$  e  $180^\circ$  ( $-45^\circ$ ,  $-90^\circ$  ou  $-135^\circ$ ) tem-se que o máximo da 1ª série ocorre antes do máximo da 2ª série, ou seja, a série 1 encontra-se antecipada, ocorrendo antes da série 2. Quando as setas se encontram verticalmente para cima, com ângulos positivos ( $45^\circ$ ,  $90^\circ$  ou  $135^\circ$ ), revelam que a 1ª série está defasada, o seu máximo ocorre depois do máximo da 2ª série. É necessário a organização e conhecimento da ordem em que as séries são processadas, ou seja, qual série é independente, série 1, qual a dependente, série 2, para que, dessa forma, seja possível calcular o período das defasagens, ou o quanto uma variável vai anteceder ou preceder a outra (Silva, 2015; Blain & Kayano, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise climatológica

As análises descritas na metodologia foram seguidas inicialmente para Irauçuba, cidade sede do Núcleo de Desertificação de Irauçuba (CE), afim de se obter toda a análise climática e assim compreender o comportamento climático do local, e apontar quais sistemas climáticos relacionam-se e contribuem para o processo de desertificação na localidade.

Na figura 2 encontra-se a média temporal da precipitação de Irauçuba dos anos de 1981 a 2020, mostrando o comportamento mensal da pluviosidade. Observa-se que a quadra chuvosa compreende o período de janeiro a abril, conforme corroboram Landim et al. (2011), os meses com maiores volumes de chuva são março e abril, sendo o mês de março que apresentou máximo registro de precipitações, com valor médio de 127,7 mm.



**Figura 2** - Média Climatológica e Desvio padrão da precipitação em Irauçuba. Período de 1981 a 2020

Isto revela que os maiores quantitativos de precipitação ocorrem nos primeiros meses do ano na localidade, e esse conhecimento pode ser um indicativo para tomada de ação da defesa civil, gerenciando, armazenando e reutilizando esses totais pluviométricos para plantio, manejo do solo e outros, durante os meses secos, visando diminuir o déficit hídrico na localidade nesses meses.

A variabilidade sazonal das chuvas no Estado do Ceará é caracterizada especialmente pela ZCIT, que atua nos primeiros meses do ano (Molion & Bernardo, 2002).

O período de estiagem ocorre entre maio a dezembro, quando os totais pluviométricos apresentam forte diminuição, principalmente nos meses de agosto a novembro, quando a precipitação é quase zero. Nesses meses que compreendem o

período seco, observa-se predomínio de deficiência hídrica, o que gera condições ideais para o agravamento da susceptibilidade à degradação ambiental no local, como mostrado por Almeida et al. (2014). O acumulado total médio anual registrado para a cidade foi de 462,38 mm de chuva, evidenciando a baixa precipitação da região, típico de regiões semiáridas, principalmente de ND.

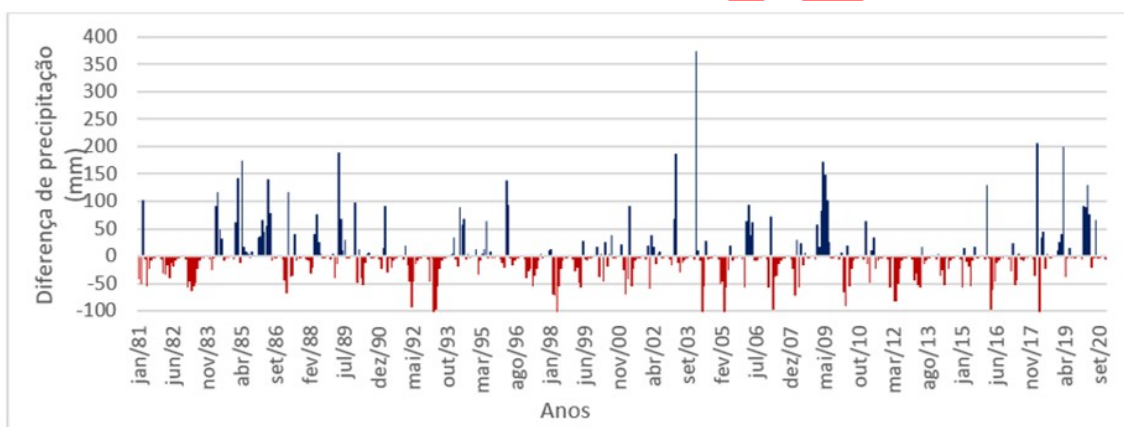
O mês de março já é pela média climatológica o mês com maior precipitação (Figura 2), mas quando levado em consideração seu desvio padrão, o mês de março pode atingir valores acima de 200 mm, pois também apresenta o maior valor de desvio padrão. A média de chuva é aproximadamente 125 mm e o desvio de 83 mm, e essas

características são observadas nos meses de março de 1985, março de 1995, março de 2009 e março de 2019, com chuvas bem acima da média, como observado na figura 2

### Comparação entre precipitação e média climatológica de Irauçuba

Na figura 3 observa-se a comparação entre a precipitação total mensal e a média climatológica de Irauçuba.

Os resultados obtidos mostram que janeiro de 2004 apresentou a maior diferença entre total de precipitação e a média, registrando 374,67 mm acima da média. Entre os anos de 1984 a 1986 houveram totais mensais de precipitação acima da média.



**Figura 3** - Comparação entre a precipitação mensal no período de 1981 a 2020 e a média climatológica de Irauçuba.

Os valores negativos evidenciam que a média climatológica foi maior que o total mensal, ou seja, o total mensal está abaixo da média, e a maioria desses valores apresentaram 50 mm de diferença. De 2010 a 2015, aproximadamente, a localidade apresentou precipitação abaixo da média nesses 5 anos. Silva et al. (2014) compararam as precipitações anuais e a normal climatológica no Estado do Maranhão, e os autores perceberam que, na última década, houve seis anos em que mais de 50% das estações distribuídas no Estado registraram precipitação abaixo da média climatológica.

### Classificação dos eventos secos e chuvosos utilizando o IAC

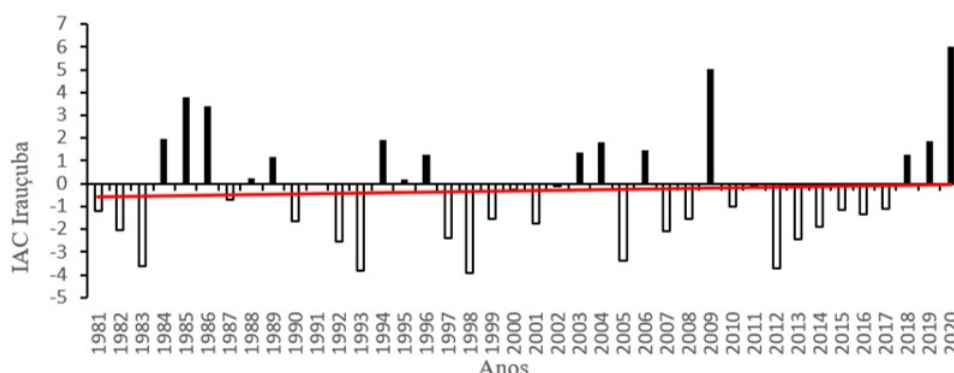
Os anos secos e os chuvosos para ND de Irauçuba (CE) são apresentados através do IAC, tornando possível conhecer o regime pluviométrico do ND, como também identificar os períodos mais intensos e/ou duradouros desses eventos.

Na figura 4 encontra-se o IAC anual para ND de Irauçuba, valores positivos significam anos chuvosos/úmidos e os valores negativos representam os anos secos. Verifica-se que, durante

todo o período, tiveram 16 anos com IACs positivos e 23 anos com IACs negativos, isto é, ocorreram mais anos secos que anos úmidos, e Costa & Da Silva (2015) também observaram esse fato para o Estado do Ceará.

Além disso, é interessante destacar que antes do ano de 2000, ocorreram 9 anos chuvosos e 10 anos secos; após esse ano, foram registrados 7 anos chuvosos e 13 anos secos, evidenciando dessa forma, que o primeiro período da série é mais chuvoso, ou seja, o ano de 2000 torna-se um ponto de inversão na distribuição da pluviosidade de Irauçuba, em virtude de ocorrer mudança no padrão local entre os anos secos e chuvosos após esse ano, corroborando com Landim et al. (2011) e Costa & Da Silva (2015).

Os períodos secos ocorreram nos seguintes intervalos: entre 1981-1983, 1990-1993, 1997-2002, 2007-2008 e o período mais longo de 2010-2017, caracterizando 7 anos consecutivos com eventos secos. Estes episódios consecutivos e prolongados de secas contribuem para o agravamento do processo de desertificação, como discutidos por Lanfredi et al. (2015); Araújo & Sousa (2017).



**Figura 4** - Índice de Anomalias de Chuva (IAC) para a série de totais anuais de Irauçuba.

Em contrapartida, Landim et al. (2011), ao estudarem desertificação na localidade, concluíram que mais de 8% das áreas aptas à desertificação tinham apresentado cerca de 11% de diminuição, aumento de 8% nas áreas de vegetação ativa e diminuição nos corpos hídricos e solos propenso à desertificação, mostrando um possível decaimento da desertificação. No entanto, segundo o relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2019), os últimos anos vêm se tornando cada vez mais quentes, e conforme projeções do relatório, os riscos de déficits de chuva e secas são maiores, podendo, não só contribuir, como também intensificar a ocorrência do fenômeno.

Dentre esses períodos, os anos em sua maioria foram classificados com muito seco. Ademais, o ano de 1998 destaca-se com maior valor negativos (secos) de -3,93, sendo classificado como muito seco. É interessante citar que, nesse ano, houve atuação do *El Niño* com forte intensidade (CPTEC, 2021). Possivelmente a ocorrência do fenômeno provocou impacto no comportamento pluviométrico do ND de Irauçuba, o que pode levar a redução na disponibilidade e distribuição da água na localidade.

#### **Tendência climática por Mann-Kendall**

A análise de tendência em séries históricas de precipitação e temperatura é uma das formas de avaliar o comportamento temporal das séries e apontar a ocorrência de mudança climática local, que que pode resultar na expansão das áreas em processo de desertificação. Dessa forma, foram analisadas as tendências temporais através do teste de Mann-Kendall das séries de precipitação

e temperatura de Irauçuba.

Para a série histórica de precipitação foram detectadas tendências de diminuição, com tendências anuais de -0,0226 e tendência na série de -0,9078. Essas tendências negativas de precipitação indicam que as chuvas que ocorreram em Irauçuba vêm diminuindo gradativamente ao longo do tempo. A diminuição da precipitação na localidade foi de 0,90 mm. A redução das chuvas acarreta irregularidades pluviométricas, diminuição da disponibilidade hídrica, gerando aumento na vulnerabilidade ambiental e, conseqüentemente, crescimento no processo de desertificação, pois, ocasiona o fenômeno climático da seca. Os resultados de tendências de diminuição em séries de precipitação também foram encontrados por Lopes & Da Silva (2016) para Sobral/Ibiapaba-CE.

A série temporal de temperatura apresentou leve tendência de aumento, sendo a tendência anual igual a 0,0020 e 0,0833 em toda a série, sugerindo que a temperatura tende a aumentar, e o aumento na temperatura foi de 0,083°C. Este resultado condiz com estudos realizados por alguns autores (Marengo & Valverde, 2007; Tomasella et al., 2009; Nóbrega et al., 2011; Marengo, 2016; Dourado, 2017), que apontaram aumento da temperatura planetária, indicando um cenário climático favorável à expansão das áreas suscetíveis a desertificação. Além desses, Mateus et al. (2015) também observaram tendências de aumento na temperatura do ar em todas as regiões cearenses. No teste T-Student (Tabela 1) ambas as séries de precipitação e temperatura apresentaram-se sem significância estatística em suas tendências de diminuição e aumento respectivamente.

**Tabela 1** - Tendências encontradas nas séries de precipitação e temperatura de Irauçuba, usando o Teste de Mann-Kendall, e resultado do teste de significância de T-Student ao nível de 95%.

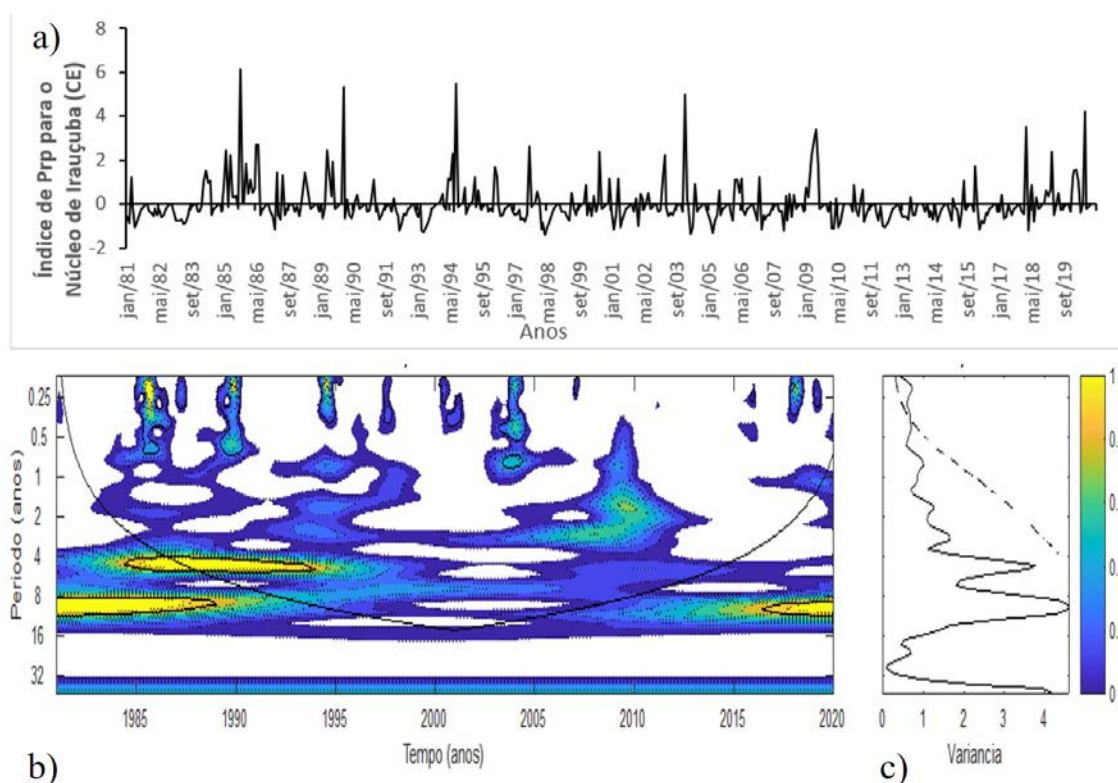
<b>Tendências por Mann-Kendall para Irauçuba</b>		
	<b>Tendências por Mann-Kendall</b>	<b>Teste de Significância T-Student</b>
<b>Precipitação (mm)</b>	-0,9078	Diminuição - Sem significância estatística
<b>Temperatura (°C)</b>	0,0833	Aumento - Sem significância estatística

## Identificação das causas climáticas

Foram realizadas as Análises em Ondas para séries de precipitação do Núcleo de Desertificação de Irauçuba (CE), e pode-se observar que as escalas temporais que influenciam a série de precipitação são: a escala sazonal, a escala de 4 a 8 anos associada ao ENOS estendido (Da Silva, 2017; Da Silva et al., 2010), a escala até 11 anos relacionada ao Dipolo do Atlântico (Clauzet & Wainer, 1999), podendo estar ligado também com

o ciclo de Manchas solares (Echer et al., 2003).

É possível observar na série temporal (Figura 5a) que o pico mais elevado de precipitação ocorreu em 1985, com índice igual a 6,16, devido à atuação simultânea das escalas temporais presentes na série, como discutido por Rockwood & Maddox (1988) ou ainda, esses fenômenos climáticos podem estar ocorrendo em mesma fase, corroborando com Gershunov & Barnett (1998), Da Silva et al. (2010) e Da Silva (2017).



**Figura 5** - a) Índice de precipitação (Prp) para Irauçuba (CE) normalizado pelo desvio padrão; b) Espectro de Potência de Ondaleta (EPO) para Prp. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; c) Espectro de Potência Global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

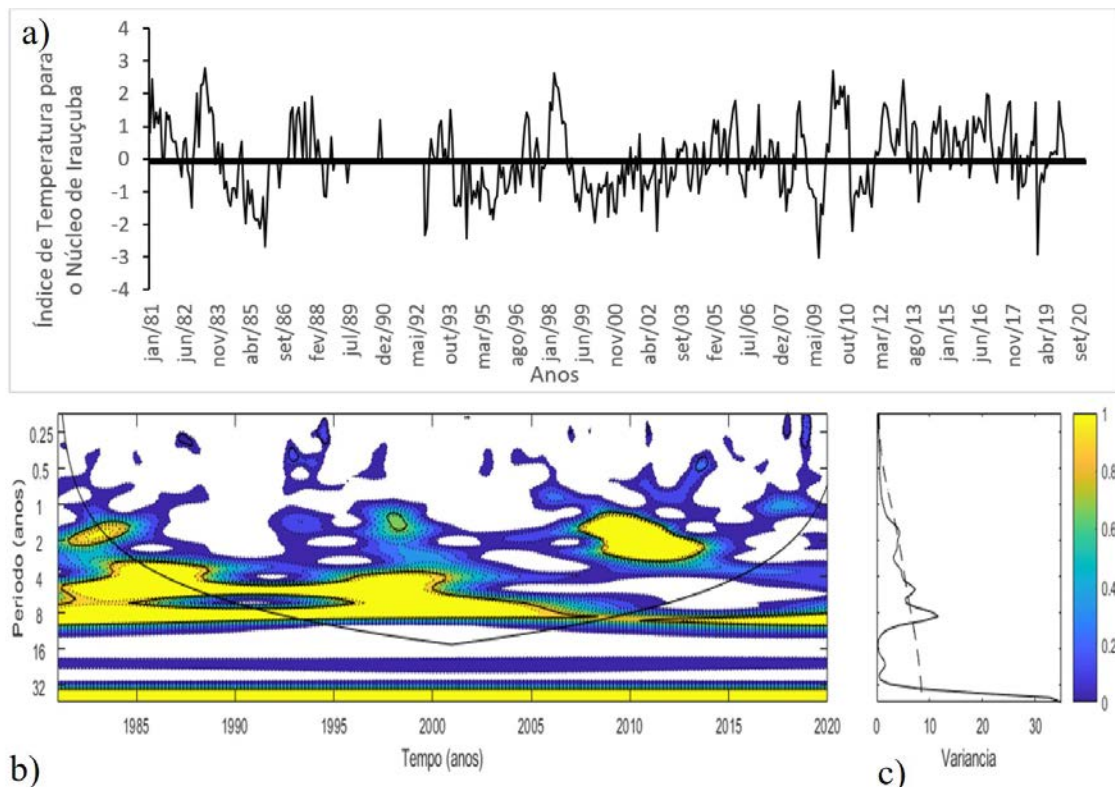
A escala sazonal mostrou-se presente apenas em 1985, já a escala do fenômeno ENOS estendido ocorreu de 1984 a 1995, o Dipolo esteve influenciando do início da série a 1990 e voltou a ocorrer de 2016 ao final da série, sendo está a escala dominante.

É interessante enfatizar que o ENOS causou grandes acúmulos de precipitação nos anos de 1989 e 1994, influenciando nos altos valores de Espectro de Potência de Ondaleta (EPO) nesses anos, como visto por Landim et al. (2011) no seu trabalho com ondaletas. Já no ano de 1998 ocorreram baixos valores de índice de precipitação, ano no qual não houve influência das escalas atuantes, apenas vestígios da escala do ENOS estendido.

A figura 6 mostra a análise de ondaleta para a série temporal de temperatura para o núcleo de

desertificação de Irauçuba para o período de 1981 a 2020. Analisando o EPO (Figura 6b), pode-se verificar que os valores significativos de potência se encontram na escala de 1-2 anos associados à escala do ENOS atuante entre 1981 a 1985, porém sem significância estatística, e ainda atuando com menor intensidade em 1999. A escala do ENOS atuou em conjunto com as escalas de 3-8 anos ligadas ao ENOS estendido, a escala de 8-11 anos associadas ao Dipolo do Atlântico (Clauzet & Wainer, 1999), e com a escala de 32 anos que pode estar ligada à OIP (Oliveira et al., 2017), que apresenta um ciclo de variação entre 15 e 30 anos. Como já mencionado, o acoplamento entre diferentes escalas leva ao aumento da intensidade do evento (Rockwood & Maddox, 1988), como por exemplo nos anos de 1983 e 1998, que ocorreram altos picos de tempe





**Figura 6** - a) Índice de Temperatura para Irauçuba (CE) normalizado pelo desvio padrão; b) Espectro de Potência de Ondaleta (EPO) para temperatura. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

ratura. Além disso, nota-se que após esses anos ocorre grande queda na temperatura, isto porque nos anos seguintes a interação entre as escalas torna-se menor, ou ainda, pode-se atribuir a possível oposição de fases entre os fenômenos. A escala de 32 anos mostrou-se dominante na série, estando presente em todos os anos, no entanto, o pico espectral nessa escala não tem significância estatística, já que está fora do cone de influência. Outrossim, entre os anos de 2007 e 2014 ocorreram picos espectrais na escala de 2-4 anos associada ao ENOS estendido agindo simultaneamente com a escala de 32 anos, ocasionaram índices negativos de temperatura em 2009, seguidos de picos positivos (Figura 6a) durante 2010, o que possivelmente está relacionado com mudanças de fases dos sistemas como discutido por Gershunov & Barnett (1998), Da Silva (2017), Bonfim et al. (2020).

Os resultados das análises de Ondaletas apontaram que as séries de precipitação e temperatura contêm influências de diferentes escalas de variabilidades, como escalas do ENOS, ENOS estendido, Manchas solares, Dipolo do Atlântico e OIP, que também influenciou a série de temperatura. Adicionalmente foi usada a análise de coerência e fase da ondaleta, afim de verificar a relação entre as séries temporais de precipitação

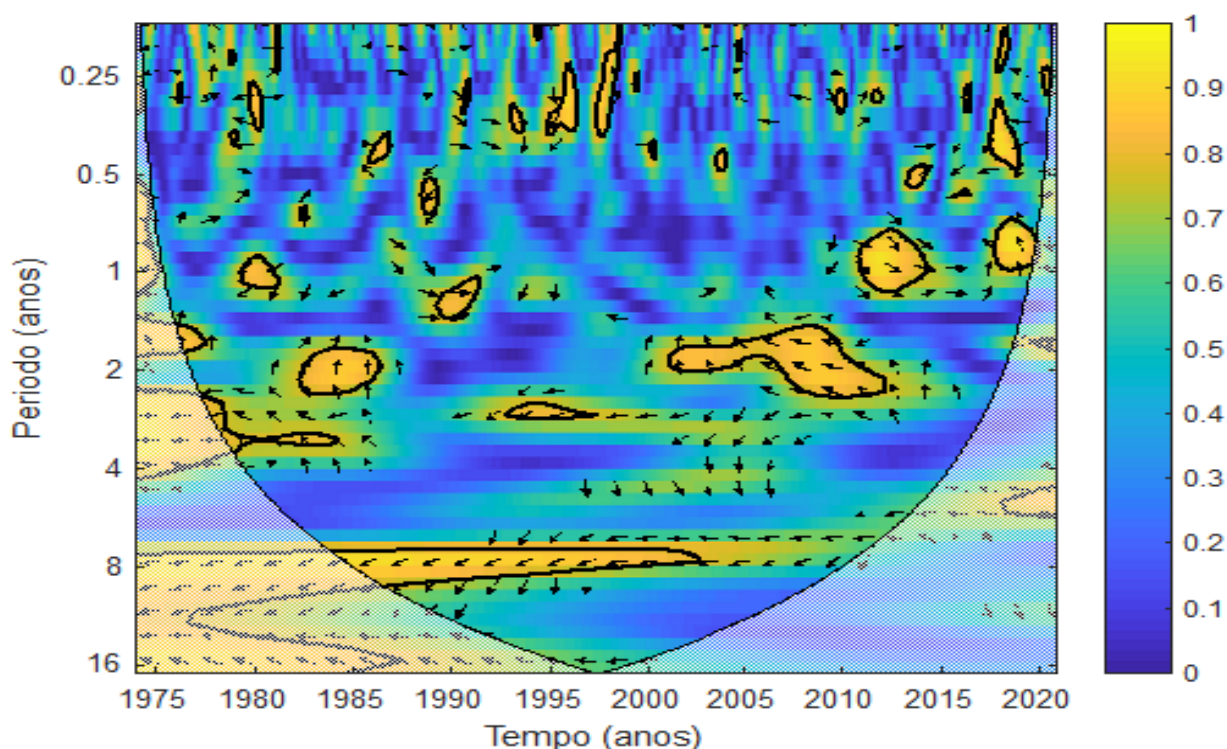
e temperatura com as séries do índice climático do fenômeno que mais influenciou as séries climáticas.

#### **Análise das Ondaletas Cruzadas para Precipitação**

Na análise espectral do gráfico da Ondaleta Cruzada, as cores indicam máximas e mínimas coerências entre as séries. As máximas estão representadas em amarelo e as mínimas em azul, conforme está na escala numérica e de cores. Os valores com significância estatística são contornados por uma linha preta, indicando o nível de significância estatística de 95% de confiança.

O Espectro de Ondaleta Cruzada da série de precipitação do Núcleo de Irauçuba com o Índice Dipolo do Atlântico encontra-se na figura 7. Para a série temporal do núcleo de Irauçuba, foi realizada a média dos quatro Municípios que compõem o Núcleo, afim de obter um maior período de dados, visto ser necessário maior série de dados para geração da Ondaleta Cruzada, conforme sugerido por Blain & Kayano (2011).

A figura 7 mostra a Ondaleta de Coerência (WTC) entre a precipitação da média da região que compõem o Núcleo de Desertificação de Irauçuba e Dipolo do Atlântico. As principais coerências ocorrem entre 1 e 3,5 anos ao longo da série. Entre as escalas de 2 e 4 anos, há forte



**Figura 7** - Ondaleta de Coerência (WTC) entre a precipitação da média da região que compõem o Núcleo de Desertificação de Irauçuba e Dipolo do Atlântico (AMM) para o período de 1974-2020. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.

coerência entre as duas séries estudadas, aproximadamente entre 1980 e 1985.

No entanto, no período de 1983 a 1985, com setas para cima, formando ângulo de 90 graus positivo, é indicado que o máximo de precipitação ocorreu depois do máximo do Dipolo do Atlântico. Com o cálculo do ângulo de 90 graus e as escalas com maior coerência, o máximo de precipitação ocorreu de 3 meses a 10,5 meses após o máximo do Dipolo do Atlântico, para período 83-85.

Já na escala temporal de 3,5 anos, entre 1980 a 1985, com setas para cima e esquerda, formando um ângulo de 135 graus positivo, o máximo de precipitação ocorreu 15,75 meses ou 1,3125 anos após o máximo de Dipolo do Atlântico.

Áreas com maior coerência entre 2004 e 2010, com setas para esquerda com ângulo de 180

graus, mostram que as variáveis estão fora de fase, coincidindo o máximo de precipitação com mínimo do Dipolo do Atlântico. Nóbrega (2019) verificou que as séries do Dipolo do Atlântico e a precipitação do Atlântico Nordeste Oriental, Parnaíba e Atlântico Nordeste Ocidental também apresentaram ângulo de 180 graus, evidenciando a fase oposta entre as variáveis.

Além desses, na escala temporal de 8 anos, entre 1985 e 2004, também há forte coerência entre as séries analisadas, com setas para baixo e esquerda, formando um ângulo de 135 graus negativos, indicando que o máximo de precipitação ocorre 36 meses ou 3 anos antes do máximo do Dipolo do Atlântico. Vale et al. (2020) também utilizando Ondaleta Cruzada, observaram que na cidade de Manaus, o máximo de precipitação ocorre 6 meses antes do máximo de temperatura.

## CONCLUSÕES

Pode-se concluir que, os maiores valores de precipitação em Irauçuba ocorrem nos primeiros meses do ano na localidade, enquanto que no período de estiagem, agosto a novembro, a precipitação é praticamente ausente, típico de regiões semiáridas. Os máximos de chuvas apresentam acumulados pluviométricos entre 100 mm a 432,5 mm. Por outro lado, os máximos de temperatura estão entre 28,2°C a 29,9°C. Durante todo o período analisado a frequência

de anos secos foi maior, de acordo com o IAC, e o ano de 2000 tornou-se um ponto de inversão na distribuição da pluviosidade de Irauçuba. Ademais, na série histórica de precipitação, foram detectadas tendências de diminuição, ou seja, as chuvas que ocorrem em Irauçuba vêm diminuindo gradativamente ao longo do tempo, enquanto a temperatura tende a aumentar. A análise de Ondaletas mostrou que o pico mais elevado de precipitação ocorreu devido a atuação

simultânea das escalas temporais presentes na série, e ainda a Coerência em Ondaleta mostrou que há um grau de inter-relação com variações em mesma frequência entre as séries de

precipitação e Irauçuba, e o máximo de precipitação no núcleo de Irauçuba ocorre 3 anos antes da máxima ocorrência do Dipolo do Atlântico.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H.A.; AGUIAR, D.B.; SILVA, J.N.; DAMASCENO, J. Indicadores hídricos do núcleo de desertificação da microrregião do Seridó ocidental da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 07, n. 05, p. 84-797, 2014.
- ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T.; GUEDES, R.L.; OYAMA, M.D.; ALVES, M.A.S. A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 3, p. 337-344, 2004.
- ARAÚJO, J.A. & SOUZA, R.F. Abordagens sobre o processo de desertificação: uma revisão das evidências no Rio Grande do Norte. **Geosul**, Florianópolis, v. 32, n. 65, p. 122-143, 2017.
- BI, H.X.; LIU, B.; WU, J.; YUN, L.; CHEN, Z.H.; CUI, Z.W. Effects of precipitation and land use on runoff during the past 50 year in a typical watershed in Loess Plateau, China. **Internacional Journal Sediment Research**, v. 24, p. 352-364, 2009.
- BLAIN, G.C. & KAYANO, M.T. 118 Anos de dados mensais do Índice Padronizado de precipitação série meteorológica de Campinas, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 1, p. 137-148, 2011.
- BLAIN, G.C. Considerações estatísticas relativas à oito séries de precipitação pluvial da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 24, n. 1 p. 12-23, 2009.
- BONFIM, O.E.T.; DA SILVA, D.F.; KAYANO, M.T.; ROCHA, L.H.S. Análise dos Eventos Climáticos Extremos e de suas Causas Climáticas para Redução de Riscos nas Bacias Hidrográficas Aguapeí e Peixe. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. Especial, 755-768, 2020.
- CASTRO, C. A. C. **Interações Trópicos-Extratrópicos na escala de tempo intra-sazonal durante o verão austral e seus efeitos na América do Sul**. São José dos Campos. 2002. Dissertação (Mestrado), São Paulo, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- CARVALHO, M.S.B.S.; SOARES, A.M.L.; SOARES, Z.M.L.; FREITAS FILHO, M.R.; SOUZA, M.J.N.; OLIVEIRA, V.P.V. Zoneamento Ecológico-Econômico das Áreas Susceptíveis à Desertificação do Núcleo Irauçuba/Centro-Norte – Ceará. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil. **Anais...João Pessoa: INPE**, 2015, p. 6102-6109.
- CEARÁ. **Secretária de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Panorama da Desertificação no Estado do Ceará. Fortaleza: SRH, 2005.
- CGEE-CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. Brasília- DF, p. 252, 2016.
- CLAUZET, G. & WAINER, I. Identificação da variabilidade de baixa frequência em algumas regiões da costa sudeste-nordeste do Brasil. **Revista Brasileira Oceanografia**, v. 47, n. 1, p. 69-78, 1999.
- COSTA, J.A & DA SILVA, D.F. Ciclos e períodos de eventos extremos na bacia hidrográfica do Rio Salgado (CE). Fortaleza. In: CONGRESSO TÉCNICO E CIENTIFICO DA ENGENHARIA E AGRONOMIA- CONTECC, 2015. Atas...Fortaleza, 1015.
- CPTEC/INPE. **La Niña. El Niño**. 2021. Disp. em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em 20/03/2021.
- DA SILVA, D.F. **Análise de aspectos climatológicos, agroecológicos, ambientais e de seus efeitos sobre a Bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL E PE)**. 2009. 212 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - UFCG, Campina Grande-PB.
- DA SILVA, D.F. Aplicação de Análises de Ondaletas para Detecção de Ciclos e Extremos Pluviométricos no Leste do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 187-198, 2017.
- DA SILVA, D.F.; KAYANO, M.T.; SOUSA, F.A.S. Uso de ferramentas estatísticas para acompanhamento climático e prevenção de riscos na Bacia Hidrográfica do rio Mundaú (Brasil). **Revista Territorium**, v. 17, p. 17-26, 2010.
- DOURADO, S.C. **Áreas de risco de desertificação: cenários atuais e futuros frente às mudanças climáticas**. 2017. 141f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) -Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas-SP.
- ECHER, E.; RIGOZO, N.R.; NORDEMANN, D.J.R.; VIEIRA, L.E.A.; PRESTES, A.; FARIA, H.H., O número de manchas solares, índice da atividade do sol. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 157-163, 2003.
- FIGUEROA, S.N. **Estudo dos sistemas de circulação de verão sobre a América do Sul e suas simulações com modelos numéricos**. São José dos Campos, 1997. Tese (Doutorado em Meteorologia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- GERSHUNOV, A. & BARNETT, T.P. Interdecadal modulation of ENSO teleconnections. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 12, p. 2715-2725, 1998
- GRINSTED, A.; MOORE, J.C.; JEVREJEVA, S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. **Nonlinear processes in geophysics**, v.11, p. 561-566, 2004.
- IPCC - INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate**. Pörtner, H.O.; Roberts, D.C.; Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Tignor, M.; Poloczanska E.; Mintenbeck, K.; Alegria, A.; Nicolai, M.; Okem, A.; Petzold, J.; Rama, B.; Weyer, N.M. Disp. em [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/12/SROCC\\_FullReport\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/12/SROCC_FullReport_FINAL.pdf), acesso em 10/03/2021.
- KAYANO, M.T. & KOUSKY, V.E. Tropical circulation variability with emphasis on interannual and intraseasonal time scales. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 11, n. 1 e 2, p. 06-17, 1996.
- KENDALL, M.G. **Rank Correlation Methods**, 4th ed, Charles Griffin: London, 1975.
- LANDIM, R.B.T.V.; DA SILVA, D.F.; ALMEIDA, H.R.R.C. Desertificação em Irauçuba (CE): Investigação de Possíveis Causas Climáticas e Antrópicas. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 1, p. 01-21, 2011.
- LANFREDI, M.; COPPOLA, R.; SIMONIELLO, T.; COLUZZI, R.; D'EMILIO, M.; IMBRENDA, V.; MACCHIATO, M. Early identification of land degradation hotspots in complex Bio-Geographic Regions. **Remote Sensing**, v. 7, n. 6, p. 8154-8179, 2015.
- LIMA, M.J.S.; DA SILVA, D.F.; CAVALCANTE, I.B.S.; SOUZA NETO, P.F. Identificação períodos de aquecimento e resfriamento no planeta através de dados paleoclimáticos. In: VIII SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 2019, Belém. **Atas...Belém**, 2019.
- LOPES, J.R.F. & DA SILVA, D.F. Tendências e distribuição espacial de variáveis climáticas no estado do Ceará. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 12 n. 1, 2016.
- MANN, H.B. Non-parametric tests against trend. **Econometrica**,

- v. 13, p. 245-259, 1945.
- MARENGO, J.A. & VALVERDE, M.C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, Campinas – São Paulo, n. 8, maio, 2007.
- MARENGO, J.A.O. **Mudanças climáticas, e Eventos Extremos no Brasil**. Disponível em [http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS\\_MudancasClimaticas.pdf](http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf). Acesso em 03-04-2021, 2016.
- MATEUS, A.E.; DA SILVA, D.F.; COSTA, I.M.; LOPES, J.R.F. Perspectivas em Variáveis Meteorológicas para o Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08 n. 05, p. 1383-1392, 2015
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca**. Disp. em: <https://www.mma.gov.br/gestao-territorial/combate-a-desertificacao/convencao-da-onu.html>. Acesso em: 15 jun. 2020.
- MOLION, L.C.B. & BERNARDO, S.O. Dinâmicas das chuvas no Nordeste brasileiro. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Anais Sociedade Brasileira de Meteorologia – SBMET CL00132, Rio de Janeiro, RJ, 1 CD-ROM, 2002.
- NÓBREGA, J.N. **Estudos de variabilidades interanual e interdecadal da precipitação pluvial das regiões hidrográficas da parte setentrional oriental do Brasil utilizando a análise de ondaletas**. Campina Grande, 2019. 160 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil.
- NÓBREGA, M.T.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M.; PAZ, A.R. Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 15, p. 585–595, 2011.
- NÓBREGA, R.S.; SANTIAGO, G.A.C.F.; SOARES, D.B. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 276-292, 2016.
- OLIVEIRA, M.J.; CARNEIRO, C.D.R.; VECCHIA, F.A.S.; BAPTISTA, G.M.M. Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. **Terra e Didática**, v. 13, n. 3, p. 149- 184, 2017.
- ROCKWOOD, A.A. & MADDOX, R.A. Mesoscale and synoptic scale interactions leading to intense convection: The case of 7 June 1982. **Weather and Forecasting**, v. 3, p. 51-68, 1988.
- ROOY, M.P.V. A rainfall anomaly index independent of time and space. Notes. **Weather Bureau of South Africa**, v. 14, p. 43-48, 1965.
- SANTOS, F.A. & AQUINO, C.A.S. Panorama da desertificação no nordeste do Brasil: Características e susceptibilidades. **Revista de geografia e interdisciplinaridade**, Grajaú/MA. v. 2, n. 7, p. 144-161, 2016.
- SILVA, I.A.S. Núcleos de desertificação do Nordeste brasileiro: susceptibilidade e dinâmica pluviométrica. In: XVII SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. Campinas, 2017. **Atas...**Campinas, 2017.
- SILVA, R.A. **Padrões de variabilidade multiescalar na temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical e Norte e seus efeitos nas chuvas da América do Sul**. Manaus-AM, 2015. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente), Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia-INPA,
- SILVA, R.A.; SILVA, V.P.R.; CAVALCANTI, E.P.; SANTOS, D.N. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 501-509, 2010.
- SOUZA NETO, P.F. **Identificação de impactos da variabilidade climática sobre os Oceanos**. Maceió, 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) - Universidade Federal de Alagoas.
- TANG, C.; CHEN, D.; CROSBY, B.T.; PIECHOTA, T.C.; WHEATON, J.M. Is the PDO or AMO the climate driver of soil moisture in the Salmon River Basin, Idaho? **Global and Planetary Change**, v. 120, p. 16-23, 2014.
- TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D.A.; CUARTAS, L.A.; FERREIRA, M.; FERREIRA, J.C.; FERREIRA, J.C.; MARENGO, J. Estudo de impacto das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos superficiais e sobre os níveis dos aquíferos na Bacia do Rio Tocantins. **CCST/INPE**, Cachoeira Paulista, 2009.
- TORRENCE, C. & WEBSTER, P. Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system, **Journal of Climate**, v. 12, p. 2679 – 2690, 1999.
- VALE, R.S.; SANTANA, R.A.; DIAS-JÚNIOR, C.Q. Análise de Dados Climáticos Usando Transformada em Ondaletas Cruzada e Coerência. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 02, p. 641-647, 2020.
- XU, Z.X.; TAKEUCHI, K.; ISHIDAIRA, H.; LI, J.Y. Long-term trend analysis for precipitation in Asian Pacific river basins. **Hydrological Processes**, v. 19, p. 3517–3532, 2005.

Submetido em 14 de setembro de 2021  
Aceito para publicação em 10 de março de 2023