

# CAPÍTULO 2

## RELAÇÃO DE COERÊNCIA E FASE ENTRE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM MACEIÓ E VARIABILIDADE CLIMÁTICA GLOBAL<sup>1</sup>

Djane Fonseca da Silva  
Iara Bezerra da Silva Cavalcante  
Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida  
Pedro Fernandes de Souza Neto  
Josicleda Domiciano Galvêncio

### RESUMO

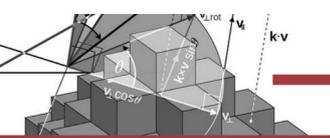
Há uma crescente urgência de estudo sobre eventos extremos de precipitação, diante o aumento de ocorrência e intensidade destes, visto que há a vulnerabilidade da população em áreas de risco, exigindo assim, uma governança ambiental dos riscos dos desastres naturais que proporcione o desenvolvimento da capacidade de adaptação das sociedades modernas. Maceió obteve em 2022, altos valores de precipitação em decorrência da variabilidade das temperaturas e fenômenos climáticos nos Oceanos Pacífico (La Niña) e Atlântico (Atlântico Sul aquecido), gerando grandes transtornos na cidade e em outras cidades do estado. O objetivo desse trabalho é primeiramente identificar as escalas temporais atuantes sobre a precipitação de Maceió, e com essas escalas associá-las a fenômenos climáticos globais, e assim, consequentemente correlacionar o índice de precipitação de Maceió com índices de variabilidade climática dos fenômenos associados. Desse modo, através da estatística de coerência e fase, pode-se prever eventos extremos de chuva locais e trazer informações preventivas de maneira antecipada e assertiva. Foram utilizados dados mensais de precipitação pluviométrica de 1952 a 2020 que foram obtidos juntos ao Instituto Nacional de Meteorologia. Também foram calculados os dados de SPI da precipitação de Maceió para gerar as Análises de Ondaletas e Ondaletas Cruzadas, as quais fizeram correlações através das análises de coerência e fase com os índices climáticos. Através das Análises de Ondaletas, identificou-se que as escalas dominantes de ENOS e ENOS estendido, e secundárias de Manchas solares e Dipolo do Atlântico, ocasionam as maiores influências e variabilidades pluviométricas locais. A ondaleta cruzada indicou que o mínimo de SPI ocorre 9 meses após máximo da fase de El Niño, podendo assim, os gestores locais, prevenir por exemplo, secas após a ocorrência de ENOS. Para a relação entre o Dipolo do Atlântico e SPI, esta estatística mostrou que o mínimo de SPI ocorre 9 meses após o máximo do Dipolo do Atlântico; desse modo, com acompanhamento das temperaturas do Oceano Atlântico, prevê-se mínimos pluviométricos e pode-se amenizar as perdas econômicas e de vidas humanas. Por fim, as Manchas Solares e SPI de Maceió apresentaram coerência, com mínimo de SPI (secas) ocorrendo 10,5 meses após o máximo das Manchas Solares. Desse modo, fica mais claro como ENOS, a variabilidade da temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico e Ciclo de Manchas solares influenciam e colaboram para a ocorrência de eventos extremos pluviométricos locais, os quais são possíveis de serem previstos estatisticamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** SPI. Eventos extremos. Análise de Ondaleta. Ondaleta cruzada.

### 1. INTRODUÇÃO

Os impactos extremos causam preocupação sobre a qualidade de vida nos últimos anos em todo o mundo, com altos números de mortes e feridos, elevados índices de doenças, desabrigados e desalojados, além de grandes perdas econômicas e destruição do meio ambiente. A crescente preocupação associa-se às recentes evidências do incremento na frequência e

<sup>1</sup> Programa Fomentador: Programa de Pós-graduação em Meteorologia (PPGMET), Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT), Universidade Federal de Alagoas (UFAL).



intensidade de desastres que estão associados às variabilidades e mudanças climáticas (MARENGO, 2009; SOUZA *et al.*, 2014).

A ocorrência de desastres naturais em todo o mundo normalmente é relacionada aos eventos extremos de chuva e seca, que ocorrem simultaneamente com algumas situações como o aumento da população nos grandes centros urbanos, a busca por oportunidades de emprego, levando a ocupação de populações de baixa renda em áreas de risco, que são frequentemente associados pelos cientistas ao aquecimento global.

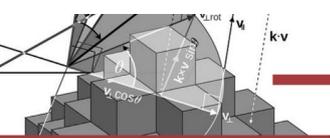
As chuvas intensas, sejam elas de elevada ou menor duração, diminuem a resistência do solo, assim, facilita a mobilidade de encostas em ambientes tropicais. Além de que, o aumento e concentração da precipitação associados com um sistema de drenagem ineficiente, usualmente por aumento excedente de carga e/ou modificações antropogênicas, desmatamentos e a construções irregulares nas calhas e terraços fluviais. Esses espaços representam, nas cidades, áreas de risco, estando sujeitas a inundações, alagamentos e deslizamentos.

Segundo Couto (2020) os municípios brasileiros podem ser afetados pelas mudanças climáticas de várias maneiras, principalmente, em áreas costeiras (como no caso da cidade de Maceió), que estão sujeitas à erosão, já que no Brasil, 56% dos desastres naturais estão associados à chuvas, enchentes e desmoronamentos, que é o resultado de um crescimento urbano não planejado, podendo incluir nos planos diretores municipais ações que minimizam os impactos causados pelos desastres climáticos.

Para Marengo (2009) a variabilidade climática e os eventos extremos (EE) causam impactos negativos na população, aumentando a mortalidade e a fragilidade nas áreas afetadas, que com a falta da adaptação, as regiões afetadas estarão mais vulneráveis aos impactos dos eventos. O Nordeste do Brasil (NEB), por exemplo, devido às mudanças climáticas aumentam drasticamente o número de pessoas vulneráveis a passar fome.

Assim, a crescente urgência diante ao aumento de ocorrência e intensidade dos EE à vulnerabilidade da população em áreas de risco, demanda avanços na gestão preventiva e, principalmente, participativa, para uma governança ambiental dos riscos dos desastres naturais que proporcione o desenvolvimento da capacidade de adaptação das sociedades modernas (JACOBI; GIATTI, 2017).

O objetivo desse trabalho é primeiramente identificar as escalas temporais atuantes sobre a precipitação de Maceió, e com essas escalas associá-las a fenômenos climáticos globais, e assim, consequentemente correlacionar o índice de precipitação de Maceió com índices de



variabilidade climática dos fenômenos associados. Desse modo, através da estatística de coerência e fase, pode-se prever eventos extremos de chuva locais e trazer informações preventivas de maneira antecipada e assertiva.

## 2. EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NO LESTE DO NORDESTE

Considera-se chuva extrema quando um evento ocorre entre 15% e 20% ou mais do total climatológico previsto de precipitação para uma estação do ano, ocorrendo em um período de tempo curto, como um dia, por exemplo (LIEBMANN *et al.*, 2001).

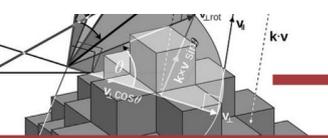
Entre os dias 17 e 19 de junho de 2010 ocorreram cheias nas Bacias do rio Mundaú e do rio Paraíba do Meio, que acarretaram, na perda de vidas humanas, devastando as edificações ribeirinhas, entre outras consequências causadas pelas vazões e alta velocidade do escoamento sendo especuladas pela mídia várias causas prováveis, como aberturas de comportas, altos volumes de precipitação e o rompimento de açudes (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Segundo Sousa *et al.* (2016) Salvador, João Pessoa e Maceió são as capitais que apresentam maiores probabilidades para ocorrência de chuva de 100 mm/dia no NEB, para o período de retorno para 50 e 100 anos, Maceió e Natal tiveram os menores valores de precipitação, sendo de abril a julho o período de maior ocorrência do evento.

Sena *et al.* (2017), em estudo similar a este, analisaram o comportamento da precipitação por décadas e a relação com EE na região do Cariri Paraibano, que resultou nas modificações dos totais anuais durante o período estudado, com maiores anomalias de precipitação anual tanto em termos médios como em escala espacial, e a variabilidade do Oceano Pacífico e Oceano Atlântico apresentaram influência nos totais pluviométricos devido sua variabilidade em escala decadal e anual.

De acordo com Rodrigues (2019) a intensidade da precipitação extrema diária esperada depende do período sazonal e do local de ocorrência, e o LNEB destacou-se como a região em que são esperadas as maiores intensidades de chuva extrema, quando estudada só a região NEB.

Leal Neto *et al.* (2019) buscaram entender a sequência histórica dos EE de precipitação, e analisar seus impactos no cotidiano de Maceió e de sua população no período de 1961 a 2018, identificaram 10 anos com EE de precipitação (1968, 1969, 1975, 1977, 2004, 2006, 2009, 2010, 2011 e 2017), alguns com apenas um mês em que foi registrado anomalia e outros com mais meses. Os 10 anos com EE apresentaram transtornos socioeconômicos para a cidade, resultando em prejuízos econômicos e com perdas de vidas humanas.



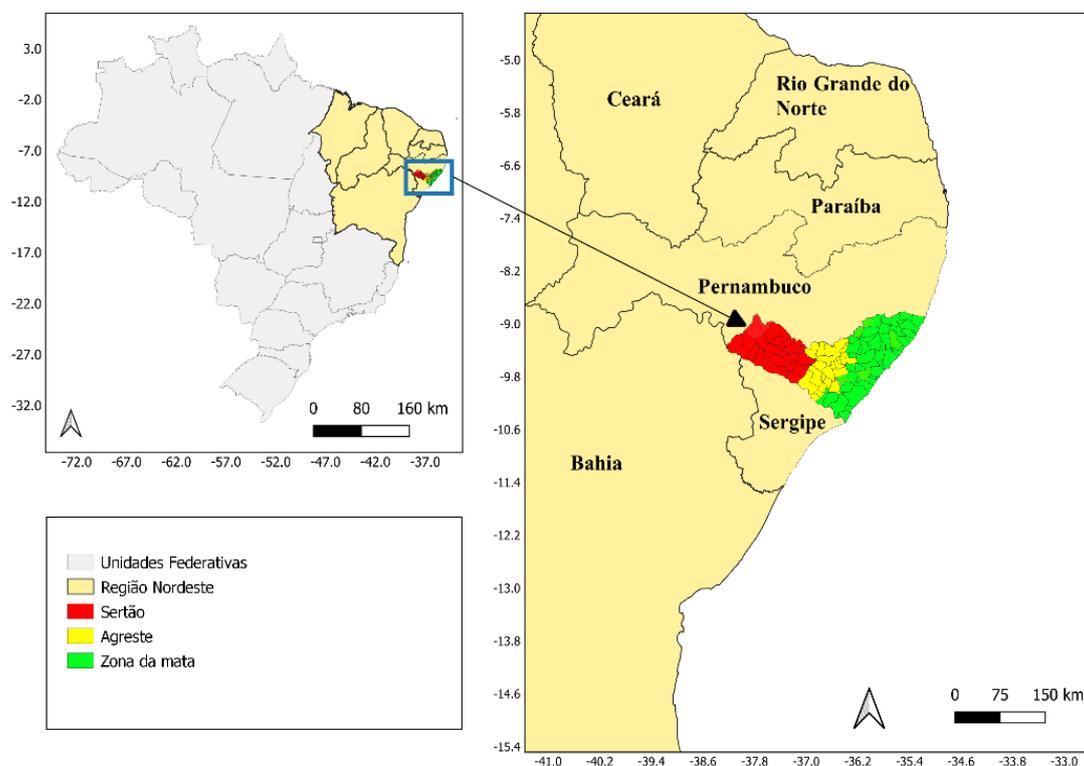
Segundo Da Silva *et al.* (2020) no LNEB a quantidade de secas leves a moderadas são maiores que os de chuva leve a moderada, tendo ocorrências de secas leves que ultrapassaram o total de todas as classes de chuvas, enquanto que os casos de extrema intensidade de precipitação persistem mais quando comparados aos eventos de seca extrema.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

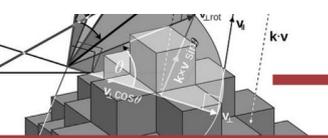
#### 3.1 Área de Estudo

O Brasil possui 26 Estados mais o Distrito federal, entre eles, Alagoas (Figura 1) que é o segundo menor estado do país. Localizada na região Nordeste do Brasil (NEB), a capital Alagoana possui área total de 509.552 km<sup>2</sup>, e está posicionada na latitude 09° 39' 57" S e longitude 35° 44' 07" W; encontra-se na região leste e possui clima Tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa no outono e inverno (PERFIL MUNICIPAL, 2018). Ao norte, limita-se com os municípios de Paripueira, Barra de Santo Antônio, São Luís do Quitunde, Flexeiras e Messias; ao sul com Marechal Deodoro e Oceano Atlântico; a oeste faz fronteira com o município de Rio Largo, Satuba, Santa Luzia do Norte e Coqueiro Seco; e a leste com o Oceano Atlântico (Figura 2).

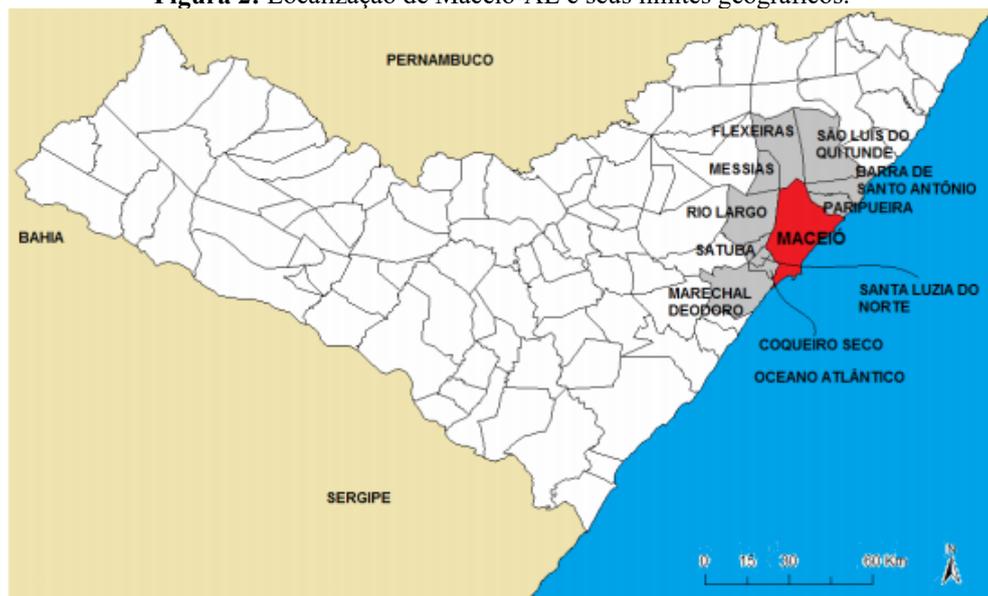
**Figura 1:** Mapa do Brasil com foco no Estado de Alagoas.



Fonte: Autoria própria (2022).



**Figura 2:** Localização de Maceió-AL e seus limites geográficos.



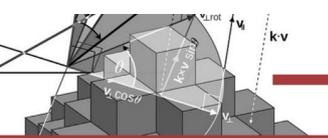
Fonte: Japiassú (2015).

### 3.2 Dados

Foram utilizados dados mensais de precipitação pluviométrica de 1952 a 2020, provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da estação pluviométrica situada no Bairro da Cidade Universitária, Maceió – AL, com latitude de  $-9,550^\circ$  e longitude  $-35,761^\circ$ . Não houveram falhas nos dados no período de estudo.

Com esses dados será calculado o índice padronizado de precipitação (SPI) de Maceió, para o mesmo período (1952-2020), e essa série de SPI submetida à Análise de Ondaleta (AO), com a qual será possível a identificação das escalas temporais dos fenômenos climáticos atuantes.

Com o mesmo SPI é possível gerar correlações avançadas com os índices climáticos, através das Ondaletas cruzadas (OC), por meio de análises de coerência e fase. Os índices climáticos, por sua vez serão escolhidas conforme as escalas principais e secundárias das AO para a precipitação de Maceió, sendo as encontradas previamente, Índice de Oscilação Sul (IOS), Dipolo do Atlântico (DA) e Manchas Solares (MS), tendo também esses índices climáticos períodos de dados de 1952 a 2020. Os dados submetidos à OC são previamente submetidos ao teste de Monte Carlo (BLAIN e KAYANO, 2011; PEREIRA, 2017), o qual necessita de período de dados mais longos para o cálculo da OC.



### 3.3 Índice padronizado de precipitação (SPI)

Desenvolvido por McKee *et al.* (1993) o SPI (do inglês Standardized Precipitation Index) é utilizado para o monitoramento de condições associadas a secas e excessos de chuva, baseado apenas no produto de precipitação mensal a partir de dados provenientes de várias fontes de dados, a principal característica do SPI é a possibilidade de utilização de monitoramento tanto de condições úmidas como secas em variadas escalas de tempo, possibilitando sua utilização em várias aplicações (CPTEC/INPE, 2020).

Para calcular o SPI inicia-se determinando uma função de densidade de probabilidade descrevendo as séries temporais. A distribuição gama (Equação 1) possui um bom ajuste para variáveis contínuas, pois tem limite inferior ou igual a zero, não possuindo limite superior, portanto, é bastante utilizada para estudar séries históricas de precipitação (SANTOS *et al.*, 2017 *pub* LIMA *et al.*, 2018).

$$g(x) = \frac{x^{\alpha-1} * e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \text{ para } X > 0 \quad (1)$$

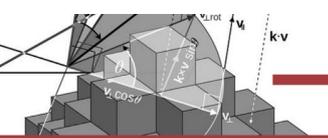
Sendo:  $\alpha > 0$  parâmetro de forma;  $\beta > 0$  parâmetro de escala;  $X > 0$  quantidade de precipitação (mm) e  $\Gamma(\alpha)$  a função gama completa.

Assim, a distribuição cumulativa é transformada em distribuição de probabilidade normal com média igual a zero e desvio padrão igual a um. Em seguida, é estimada a probabilidade acumulada de ocorrência de cada valor mensal. Aplicando essa probabilidade a função normal inversa, encontra-se o valor de SPI. Em que o SPI é a diferença da precipitação observada menos a média do intervalo de tempo específico, dividida pelo desvio padrão, como é mostrado na Equação 2 (SANTOS *et al.*, 2017):

$$SPI = Z_i = \frac{(P_i - \bar{P}_i)}{\sigma_i} \quad (2)$$

Em que:  $P_i$  é a precipitação mensal no período,  $\bar{P}_i$  a precipitação média do período em questão e  $\sigma_i$  o desvio padrão da série histórica de precipitação.

Após calcular o SPI, a precipitação mensal para um específico período de tempo recebe um valor adimensional correspondente a uma classe. Os valores de SPI positivos significam superioridade à média de precipitação, já os valores negativos significam menos que a média de precipitação. O zero representa a precipitação média, e a variação da saída do zero é uma medida probabilística que indica a intensidade de um evento chuvoso ou seco, podendo ser utilizado para avaliação de risco (BONFIM, 2018). As categorias de seca e de chuva anômala,



conforme o SPI, descritas por McKee *et al.* (1993) e adaptada por Lima *et al.* (2018) é dada na Tabela 1:

**Tabela 1:** Classificação e valores do SPI.

Valores de SPI	Classes
< -2,00	Seca Extrema
-1,99 a -1,50	Seca Severa
-1,49 a -1,00	Seca Moderada
-0,99 a -0,49	Seca Leve
-0,48 a 0,48	Quase Normal
0,49 a 0,99	Chuva Leve
1,00 a 1,49	Chuva Moderada
1,50 a 1,99	Chuva Severa
> 2,00	Chuva Extrema

Fonte: McKee *et al.* (1993) adaptada por Lima *et al.* (2018).

### 3.4 Análise de ondaletas - AO

O termo ondeleta refere-se a um conjunto de funções com forma de pequenas ondas que são geradas por dilatações,  $\Psi(t) \rightarrow \Psi(2t)$ , e translações,  $\Psi(t) \rightarrow \Psi(t+1)$ , de uma função base geradora simples  $\Psi(t)$ , assim, através da ondeleta-mãe, pode ser gerada as chamadas ondeletas-filhas. A base da Transformada de Fourier é contatada que cada função base é obtida a partir de simples dilatações na frequência, conciliando as propriedades de dilatação e translação em um exemplo de função base, sendo obtida as chamadas funções ondeletas, em que as dilatações e translações são dadas por duas variáveis nomeadas **j** e **k**, respectivamente (BOLZAN, 2006).

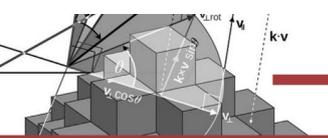
Primeiramente o índice de precipitação deve ser tratado e em seguida, submetidos à AO. Esse é referente à anomalia da variável, que será calculada a partir da climatologia mensal e normalizada pelo desvio padrão, como na Equação 3 (DA SILVA, 2009):

$$AVar_{i,j} = (Var_{i,j} - \overline{Var}_i / \sigma_i) \quad (3)$$

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

A Ondeleta Morlet é definida como uma exponencial complexa modulada por uma Gaussiana, que é dada pela Equação 4 (ANDREOLI *et al.*, 2004 *apud* Da Silva, 2017):

$$\psi(t) = e^{i\omega_0 t} e^{-\eta^2/2} \quad (4)$$



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®.

A ondaleta Morlet é complexa e possui características semelhantes aos de sinais meteorológicos, tais como simetria ou assimetria e variação temporal brusca ou suave. Estes critérios são adotados para a utilização da ondaleta para identificações de variações em escalas sinóticas, oscilações intra-sazonais e outras variações meteorológicas de diferentes escalas temporais (WENG; LAU, 1994).

### 3.5 Ondaleta Cruzada / Coerência e Fase - OC

A OC foi aplicada para a série temporal de precipitação de Maceió e os índices IOS, DA, MS, com o objetivo de avaliar as correlações entre chuva e os fenômenos climáticos.

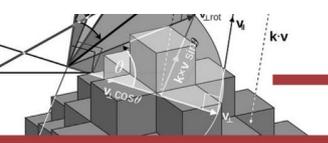
Para a determinação do nível de significância dos picos espectrais, seja na análise de Fourier, seja na ondaleta, exige a escolha de um espectro de fundo apropriado, dessa forma, é assumido que distintas realizações de um processo geofísico distribuem-se aleatoriamente em torno desse valor espectral esperado. Para variados fenômenos físicos, esse espectro de fundo pode ser baseado em processos de ruído branco ou vermelho, que pode ser definido por meio da Equação 5 (TORRENCE; COMPO, 1998; TORRENCE; WEBSTER, 1999; GRINSTED *et al.*, 2004 *apud* BLAIN; KAYANO, 2011):

$$P_k = \frac{1-\alpha}{1+\alpha^2-2\alpha\cos(2\pi k/j)} \quad (5)$$

Para  $k=0\dots j/2$  e  $\alpha = \frac{r_1+\sqrt{r_2}}{2}$

Em que:  $r_1$  e  $r_2$  são os coeficientes da função autocorrelação (acf) para as defasagens (lags) 1 e 2 da série com  $j$  dados. Verifica-se na Equação 6 que se a série em análise foi originária de um processo de ruído branco, tem-se  $P_k$  constante para todo  $k$ . A distribuição de nulidade para a potência local da ondaleta (WPS), relacionada à  $H_0$ , pode ser definida pela Equação 6, a qual é a forma de investigação estatística denominada de análise cruzada de ondaleta (BLAIN; KAYANO, 2011):

$$\left| \frac{W_n(S)}{\sigma^2} \right|^2 = \frac{1}{2} P_k \chi_2^2 \quad (6)$$



Em que:  $\sigma^2$  é a variância da série temporal,  $\chi_2^2$  representa a distribuição qui-quadrado com dois graus de liberdade.

A coerência mostra o grau da coerência entre duas séries temporais, não determinando necessariamente a covariabilidade da energia entre elas, podendo ser interpretada ainda como a medida da coerência entre duas ondeletas simples em tempo-frequência. Para o caso de duas séries temporais, a coerência pode ser definida como mostra na Equação 7, que é uma expressão semelhante ao coeficiente de correlação (Pearson), dessa forma, pode-se pensar em ondeleta coerência como uma medida do coeficiente de correlação localizado em tempo-frequência (BARBOSA; BLITZKOW, 2008):

$$R_n^2 = \frac{|S(s^{-1}W_nXY_{(s)})|^2}{S(s^{-1}|W_nX_{(s)}|^2) \cdot S(s^{-1}|W_nY_{(s)}|^2)} \quad (7)$$

Em que: S é o operador de suavização. E o S é dado pela Equação 8:

$$S(W) = S_{escala}(S_{tempo}(W_n(s))) \quad (8)$$

Em que:  $S_{escala}$  denota a suavização ao longo da escala dos eixos das ondeletas e  $S_{tempo}$  no tempo.

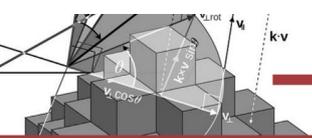
Um operador de suavização é dado de acordo com a Equação 9 e 10, para a ondeleta-mãe de Morlet:

$$S_{tempo}(W) \Big|_s = (W_n(s) \otimes c_1 \frac{-t^2}{2s^2}) \Big|_s \quad (9)$$

$$S_{escala}(W) \Big|_s = (W_n(s) \otimes c_2 \Pi(0,6s)) \Big|_s \quad (10)$$

Sendo:  $c_1$  e  $c_2$  são as constantes de normalização e  $\Pi$  é a função retângulo, o fator 0,6 é determinado empiricamente para a função ondeleta de Morlet.

As diferenças de fases ou relações entre as séries temporais são retratadas pelo ângulo de inclinação dos vetores. As setas voltadas na horizontal apontadas para a direita ( $0^\circ$ ) indicam que as séries estão em fase, quando as séries em fases opostas estão orientadas para a esquerda ( $180^\circ$ ), como foi mostrado também no trabalho de Blain e Kayano (2011) e Da Silva *et al.* (2022). Para os ângulos inversos (negativos) entre  $0^\circ$  e  $180^\circ$  têm-se que o máximo da série 1 ocorre antes do máximo da série 2; quando as setas estão orientadas verticalmente para cima,



com os ângulos positivos revelam que a série 1 está defasada, com seu máximo ocorrendo depois do máximo da série 2.

É necessário a organização e conhecimento da ordem em que as séries são processadas, isto é, qual série é independente (série 1) e qual a dependente (série 2), para que, assim, seja possível o cálculo para o período das defasagens, ou o quanto uma série vai antecipar ou adiantar a outra (SILVA, 2015; BLAIN; KAYANO, 2011).

Para a detecção de pontos de mudança, uma das abordagens utilizadas é através da minimização do custo total, que é formada pelo somatório do custo associado a adequação da propriedade estatística que se deseja analisar, ao seu conjunto de segmentos (Equação 11) (ROCHA *et al.*, 2019):

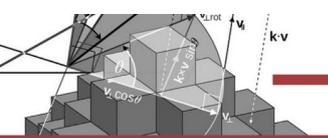
$$C_t = \sum_{i=1}^{m+1} [C(y_{\tau_{i-1}:\tau_i})] + \beta f(m) \quad (11)$$

Em que:  $m$  é o total de pontos de mudança;  $C(y_{\tau_{i-1}:\tau_i})$  é a função de custo de cada segmento;  $\beta f(m)$  é um fator de penalidade e  $C_t$  é o custo total.

As cores utilizadas na coerência são traduzidas pelo próprio algoritmo, em que as áreas circuladas em preto indicam a verificação para nível de significância de 5% assumidas pelo algoritmo; na cor vermelho escuro são indicativos de fases e anti-fases; em azul, verde, amarelo, alaranjado e vermelho claro, representam áreas que os coeficientes indicam situações intermediárias entre fase e anti-fase. As setas indicam anti-fase quando estão da direita para a esquerda, já quando estão da esquerda para a direita, estão em fase (CASTRO, 2007; ROCHA, 2018).

A sincronização entre as fases de algum componente periódico de  $X(t)$  em relação ao componente correspondente de  $Y(t)$  pode-se ser representado pela diferença das fases convertido em ângulos no intervalo  $[-\pi, \pi]$  é apresentada no espectro de potência através da utilização de setas (ROCHA *et al.*, 2019).

A realização da medição de coerência de fase da ondeleta é realizada para atribuir um valor de suporte nas medidas de diferença de fase entre duas séries temporais, com grandes valores da coerência de fase, o que significa que a diferença de fase varia suavemente como uma função de frequência, ou seja, não aleatório. Torrence e Webster (1999) dão a diferença de coerência de fase através da Equação 12 (VALE *et al.*, 2020):



$$\phi_n(S) = \text{tg}^{-1} \left( \frac{\Im\{s^{-1}W_n^{xy}(s)\}}{\Re\{s^{-1}W_n^{xy}(s)\}} \right) \quad (12)$$

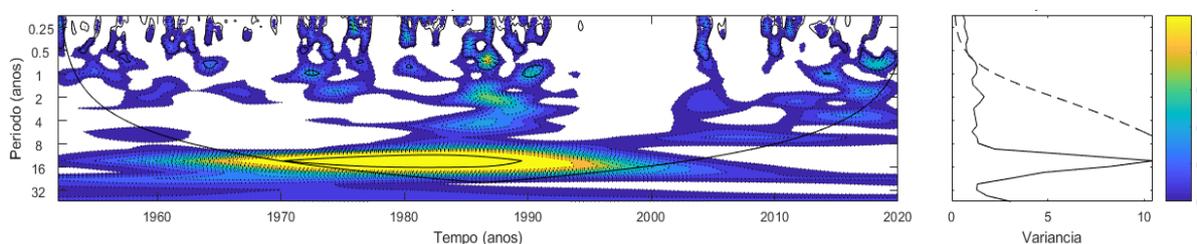
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análises de Ondaletas – AO

Através da AO foram identificadas escalas temporais que ocorriam na série de SPI e quais dessas escalas associam-se às sistemas meteorológicos e fenômenos climáticos, apontados assim como causadores do evento de maior ou menor /nenhuma chuva. As análises foram feitas para o período de 1952 até 2020.

Ao agir em conjunto, estas escalas podem causar valores elevados de chuva ou seca, provocando assim, consequências, principalmente para a população da região afetada, como é citado por (MARKHANN, 1974; HASTENRATH; HELLER, 1977; HASTENRATH; KACZMARCZYK, 1981; ROCKWOOD; MADDOX, 1988; DA SILVA, 2017; RAMIRES *et al.*, 2017).

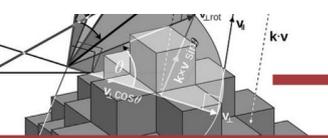
**Figura 3:** Espectro de potência de ondaleta (EPO). Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e Espectro de Potência Global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.



**Fonte:** Autoria própria (2023).

De acordo com a literatura, alguns eventos marcaram o aumento/diminuição da precipitação local, como o déficit pluviométrico ocorrido no LNEB em 2016 (INPE, 2021) devido ao ENOS de 2015 e 2016 (CPTEC/INPE, 2020), a instabilidade ocorrida em Alagoas que causou aumento na precipitação em 2017 (CPTEC-INPE, 2017), em 2018 ocorreu redução da precipitação devido ENOS (CPTEC, 2018), em 2017 e 2018 houve ocorrência de La Niña moderada (CPTEC/INPE, 2020) e em 2019, devido ao ENOS (2015-2016) ocorreu uma seca fraca (CEMADEN, 2019).

Ao analisar a ondaleta foram identificadas as seguintes escalas: sazonal (0,25 anos) (WEICKMANN *et al.*, 1985), semestral (0,5 anos) (NASCIMENTO *et al.*, 2017), interanual (1

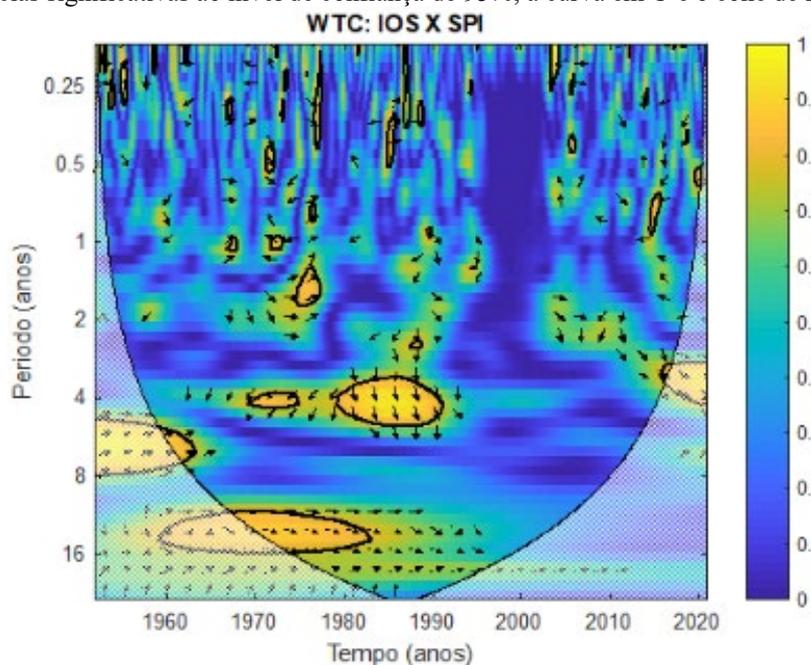


ano) (SERVAIN, 1991), ENOS (entre 1 e 2 anos), ENOS estendido (2 a 7 anos) (DA SILVA, 2017; DA SILVA *et al.*, 2020), Manchas Solares (11 anos) (KERR, 1996; MOLION, 2005) e Dipolo do Atlântico (SERVAIN *et al.*, 1999) de 7-8 a 11 anos. ENOS estendido, Dipolo do Atlântico e Manchas solares são vistos mais intensos e com maior interação entre eles, entre 1964 a 1995 (Figura 3). O ENOS e ENOS estendido apresentaram-se como escala dominante na ondaleta, enquanto que as Manchas Solares e Dipolo do Atlântico têm escala secundária, apesar de que essas escalas não têm tanta significância estatística por estarem fora do cone de influência.

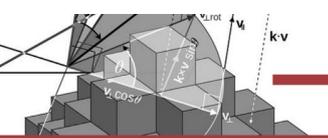
#### 4.2 Relação entre IOS e SPI de Maceió

A Ondaleta cruzada entre IOS e SPI (1952-2020) (Figura 4) apresentou coerência entre 5 a 8 anos, com setas para a direita, indicando fase, em que as duas séries (IOS e SPI) coincidem de 1952 a 1962. Também nota-se coerência entre 3 a 5 anos, em que o mínimo de SPI ocorre 9 meses (ou 0,75 anos) após o máximo de IOS, que é mostrado pela seta indicando  $90^\circ$ , no período de 1980 a 1990. No WTC que ocorre de 1960 a 1982, a coerência de 13 a 16 anos no qual as setas estão para a direita, apresentam-se em fase. Os trabalhos de Blain e Kayano (2011) e Pereira (2017) mostram que o IOS e o SPI apresentam boa coerência, assim como os resultados encontrados para as mesmas variáveis desta pesquisa.

**Figura 4:** WTC entre o IOS e SPI de Maceió para o período de 1952-2020. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.



Fonte: Aatoria própria (2023).



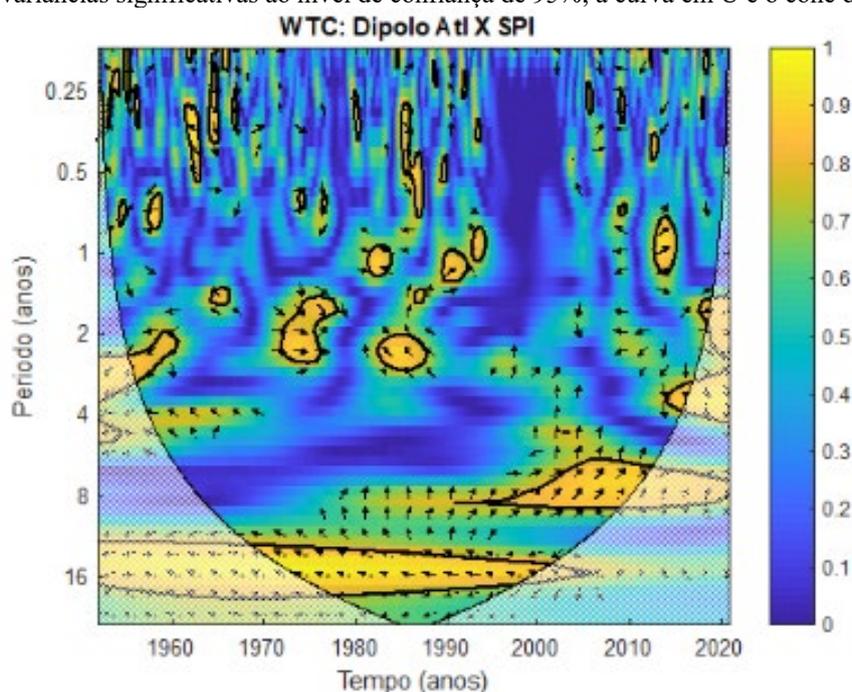
### 4.3 Relação entre dipolo do oceano Atlântico e SPI de Maceió

No WTC entre o Dipolo do Atlântico e SPI (1952-2020) (Figura 5) apresentaram coerência nas escalas de 6 a 9 anos, com o mínimo de SPI ocorrendo 0,75 anos ou 9 meses (45°) antes do máximo do Dipolo do Atlântico, visualizado de 1990 até o final da série dos dados, em 2020.

No período de 1952 a 2009 a coerência ocorreu entre as escalas de 13 a 17 anos, em que o máximo do Dipolo do Atlântico e o mínimo do SPI encontram-se em fase completamente opostas, o que significa que as duas séries estão fora de fase.

Silva e Santos (2009) identificaram que a ondaleta cruzada é uma ferramenta eficaz para a análise pluviométrica, como foi utilizada para a região da Paraíba e de Santa Catarina, também encontrando escalas em fase e fora de fase como o presente estudo.

**Figura 5** - WTC entre o Dipolo do Atlântico e SPI para o período de 1952-2020. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.

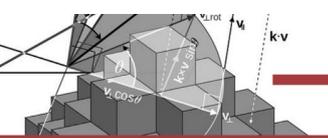


Fonte: Autoria própria (2023).

### 4.3 Relação entre ciclo de manchas solares e SPI de Maceió

O WTC entre Manchas Solares e SPI (1952-2020) (Figura 6) apresentou coerência entre 3,5 a 6 anos, sendo o mínimo de SPI avançado (ocorre antes) 0,87 anos ou 10,5 meses em relação ao máximo das Manchas Solares de 1979 a 1990.

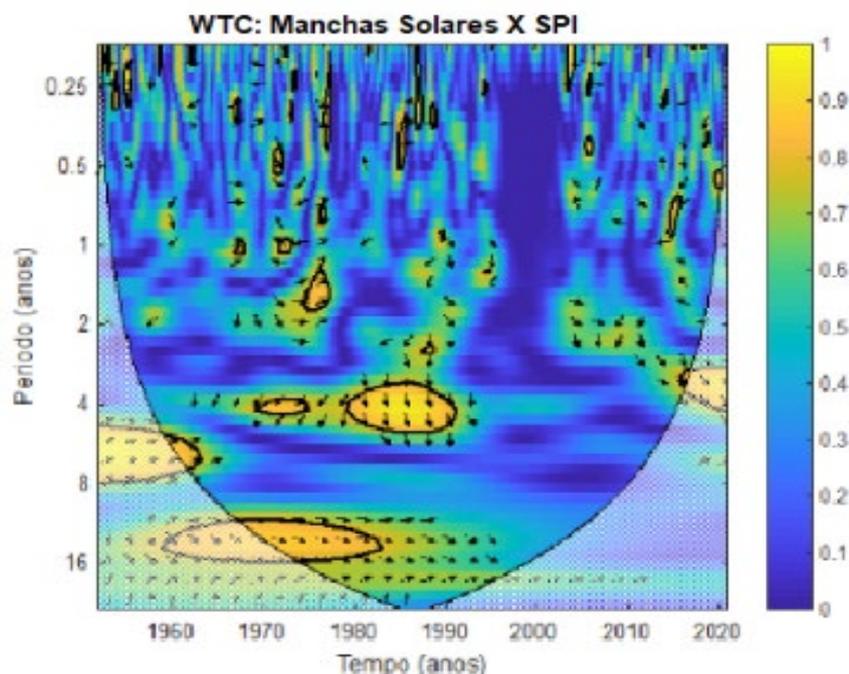
No período entre as escalas de 5 a 8 anos de 1952 a 1961, e entre as escalas de 11 a 16 anos, de 1959 a 1982, as coerências apresentaram completamente em fase (setas para a direita)



entre as séries de máximo de Manchas Solares e mínimo de SPI, mostrando correlação entre as séries.

No trabalho de Lima (2017), ao correlacionar Manchas Solares com o Dipolo do Atlântico, verificou-se que no Oceano Atlântico Norte há coerência em fase, enquanto que no Oceano Atlântico Sul, tem coerência negativa, também na escala de 11 anos.

**Figura 6:** WTC entre as Manchas Solares e SPI para o período de 1952-2020. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.

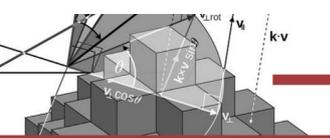


Fonte: Autoria própria (2023).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Análise de Ondaleta identificou que as escalas sazonal, semestral, interanual, de ENOS, ENOS estendido, de Dipolo do Atlântico, e de Manchas solares atuam influenciando e deixando seu sinal sobre a série de precipitação de Maceió, e conseqüentemente, sobre o SPI local. No entanto, as escalas dominantes de ENOS e ENOS estendido, e secundárias de Manchas solares e Dipolo do Atlântico, ocasionam as maiores influências e variabilidades pluviométricas locais.

A ondaleta cruzada indicou que o mínimo de SPI ocorre 9 meses após máximo da fase de El Niño (IOS), podendo assim, os gestores locais, preverem por exemplo, secas após a ocorrência de ENOS. Para a relação entre o Dipolo do Atlântico e SPI, esta estatística mostrou que o mínimo de SPI ocorre 9 meses após o máximo do Dipolo do Atlântico; desse modo, com acompanhamento das temperaturas do Oceano Atlântico, prevê-se mínimos pluviométricos e pode-se amenizar as perdas econômicas e de vidas humanas. Por fim, as Manchas Solares e SPI



de Maceió apresentaram coerência, com mínimo de SPI (secas) ocorrendo 10,5 meses após o máximo das Manchas Solares.

Desse modo, fica mais claro como ENOS, a variabilidade da temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico e Ciclo de Manchas solares influenciam e colaboram para a ocorrência de eventos extremos pluviométricos locais, os quais são possíveis de serem previstos estatisticamente.

## REFERÊNCIAS

ANDREOLI, R. V. *et al.* A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro (RJ), n. 3, v. 19, jun. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/>. Acessado em 13/01/2022.

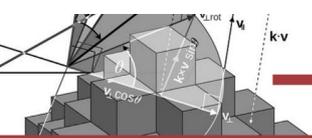
BARBOSA, A. C. B.; BLITZKOW, D. **Ondaletas: Histórico e Aplicação**. n.1, IAG (USP), São Paulo, Editora USP, Maio 2008, p. 39 Disponível em: [http://sites.poli.usp.br/ptr/lgt/FTP/Apostila\\_Ondaletas\\_%20MSc.Augusto\\_Barbosa&Dr.Denizar\\_Blitzkow.pdf](http://sites.poli.usp.br/ptr/lgt/FTP/Apostila_Ondaletas_%20MSc.Augusto_Barbosa&Dr.Denizar_Blitzkow.pdf). Acessado em 24/01/2023.

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**, Rio de Janeiro (RJ), n. 1, v. 26, jan 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/>. Acessado em 13/01/2022.

BOLZAN, M. J. A. Transformada em ondeleta: Uma necessidade. **Revista Brasileira de Ensino em Física**, São Paulo (SP), n. 4, v. 28, mar. 2006. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/>. Acesso em 24/01/2023.

BONFIM, O. E. T. **Aplicação de análises estatísticas na pluviometria das Bacias Hidrográficas Aguapeí-Peixe (SP)**. 2018. p. 87 Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/jspui/bitstream/riufal/2539/1/Aplica%C3%A7%C3%A3o%20de%20an%C3%A1lises%20estat%C3%ADsticas%20na%20pluviometria%20das%20bacias%20hidrogr%C3%A1ficas%20Aguape%C3%AD-Peixe%20%28SP%29.pdf>. Acesso em 24/01/2023.

CASTRO, A. C. **Padrões de variabilidade intrasazonal sobre a cidade de São Paulo e o Oceano Atlântico Sul adjacente utilizando a análise de ondeleta, no período de 1982 a 2005**. 2007. p. 89 Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo/ IAG – USP, São Paulo, 2007. Disponível em: Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007, Acesso em 24/01/2023.



CEMADEN. **Situação da Seca no Semiárido e Impactos – Julho de 2019**. 2019. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/situacao-da-seca-no-semiarido-e-impactos-julho-de-2019/>>. Acesso em: 19 maio 2021.

COUTO, C. **As Mudanças Climáticas e as Cidades Brasileiras**. 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/eventos-proclima/as-mudancas-climaticas-e-as-cidades-brasileiras/>>. Acesso em: 21 de outubro de 2020.

CPTEC-INPE. **Chuva intensa em parte do Nordeste do país: Caso ocorrido no Leste do Nordeste em maio de 2017**. 2017. Disponível em: <<https://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/129314>>. Acesso em: 19 maio 2021.

CPTEC. **Outono termina com chuvas abaixo da média na maior parte do Brasil**. 2018. Disponível em: <<http://infoclima.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 19 maio 2021.

CPTEC-INPE. **Monitoramento do El Niño durante NDJ-2019/2020**. 2020. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 03 mai. 2021.

DA SILVA, D. F. **Análise de aspectos climatológicos, agroeconômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a Bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE)**. Mar. 2009. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - UFCG, Campina Grande-PB, 2009. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/3666>. Acesso em: 24/01/2023.

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**, Rio de Janeiro (RJ), n. 2, v. 32, mar. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/>. Acessado em 24/01/2023.

DA SILVA, D. F. *et al.* Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no Índice Padronizado de Precipitação para o Leste do Nordeste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife (PE), n.2, v. 13, abr.2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/243372>. Acessado em: 21/04/2020.

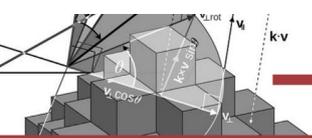
DA SILVA, D. F. *et al.* Coerência entre extremos no Oceano Pacífico e extremos climáticos em Santiago (Chile). **Revista brasileira de Climatologia**, Rio de Janeiro (RJ), n.4, vol. 31, dez. 2022. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/16037>. Acessado em: 26/12/2022.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. **Journal of the Royal Meteorological Society Quarterly**, England, United Kingdom, n. 103, v. 435, jan. 1977. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/>. Acesso em: 24/01/2023.

HASTENRATH, S.; KACZMARCZYK, E. B. On spectra and coherence of tropical climate anomalies. **Tellus**, Copenhagen, Denmark, n. 5, v. 33, jan.1981. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.2153-3490.1981.tb01771.x>. Acesso em 20/01/2023.

INPE. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Panorama geral das condições meteorológicas e os principais eventos extremos significativos ocorridos no Brasil em 2016**. Brasília, 2021.

JACOBI, P. R.; GIATTI, L. Eventos extremos, urgências e mudanças climáticas. **Revista**



**Ambiente e Sociedade**, São Paulo (SP), n. 3, v. 20, jul. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/Dd7DtKff4BK466J7f9pGxxB/?lang=pt>. Acesso em: 24/01/2023.

JAPIASSÚ, L. A. T. **Expansão urbana de Maceió, Alagoas: caracterização do processo de crescimento territorial urbano em face do plano de desenvolvimento - de 1980 a 2000**. 2015. p. 165 Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/1313>. Acesso em: 24/01/2023.

LEAL NETO, J. G. S. *et al.* Eventos meteorológicos extremos e suas repercussões na cidade de Maceió, Estado de Alagoas. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada**, n. 18, 2019, Fortaleza, Anais XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada, Edt. UFC, Fortaleza, CE, 2019. p. 2433, Disponível em: XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada, n. 18, 2019, Fortaleza, Anais. Acesso em: 20/01/2023.

LIEBMANN, B.; JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. Interannual variability of daily extreme precipitation events in the state of São Paulo, Brazil. **Journal of Climate**, New York, USA, n.1, v. 14, jan. 2001. Disponível em: [https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/14/2/1520-0442\\_2001\\_014\\_0208\\_ivodep\\_2.0.co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/14/2/1520-0442_2001_014_0208_ivodep_2.0.co_2.xml). Acesso em: 24/01/2023.

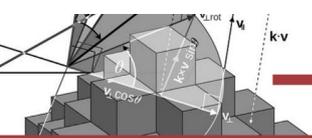
LIMA, D. C. **Análise das possíveis relações entre os ciclos solares e as anomalias de TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais**. 2017. p. 103 Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/1442>. Acesso em: 23/01/2023.

LIMA, M. J. S. *et al.* Classificação, quantificação e ocorrência de eventos climáticos extremos nas três mesorregiões do estado de Alagoas, Brasil. **Revista Ciência e Sustentabilidade**, Juazeiro do Norte (CE), n.2, v. 4, dez. 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufca.edu.br/ojs/index.php/cienciasustentabilidade/article/view/319>. Acesso em: 23/01/2023.

MARENGO, J. A. Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima - Impactos sociais e econômicos. **Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas**, São José dos Campos (SP), n. 8, edição especial, mai. 2009. Disponível em: [http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/newsletters/Boletim\\_No8\\_Port.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/newsletters/Boletim_No8_Port.pdf). Acesso em: 24/01/2023.

MARKHANN, C. G. Apparent periodicities in rainfall at Fortaleza. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, New York (USA), n.1, v. 13, fev. 1974. Disponível em: [https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/13/1/1520-0450\\_1974\\_013\\_0176\\_apiraf\\_2\\_0\\_co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/13/1/1520-0450_1974_013_0176_apiraf_2_0_co_2.xml). Acesso em: 24/01/2023.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to times scale. In: **Eighth Conference on Applied Climatology**, n.8, 1993, Anaheim, California. Anais Eighth Conference on Applied Climatology, Edt. Conference on Applied Climatology, 1993. 17- p. 22 Disponível em: [https://www.droughtmanagement.info/literature/AMS\\_Relationship\\_Drought\\_Frequency\\_Duration\\_Time\\_Scales\\_1993.pdf](https://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf). Acesso em: 24/01/2023.



OLIVEIRA, D. L.; DE SOUZA, V. C. B.; FRAGOSO JÚNIOR, C. R. Análise Hidrológica da Cheia Excepcional Ocorrida em Junho de 2010 nas Bacias dos Rios Mundaú e Paraíba do Meio em Alagoas e Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Rio de Janeiro, n. 3, v. 19, jul. 2014. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=168&SUMARIO=4799>. Acesso em: 24/01/2023

PEREIRA, T. A. S. **Análise e previsão de chuvas na estação seca do Leste do Nordeste do Brasil: Aplicação nas bacias dos Rios Mundaú e Paraíba do Meio (AL/PE)**. 2017. p. 152 Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – CTG - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/29901>. Acesso em: 24/01/2023.

PERFIL MUNICIPAL. 2018. Disponível em: <https://dados.al.gov.br/catalogo/dataset/c70c5d37-9cef-4bf7-b55f-456aded041eb/resource/d6deb2f8-2505-4f24-8d79-f74adcf8ed50/download/perfilmaceio2018.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2021.

RAMIRES, J.; ARMOND, N. B.; SALGADO, C. M. A variabilidade pluviométrica no Cariri Cearense e a influência das teleconexões ENOS e ODP. In: **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. n.17, v.1, jul. 2017, Campinas, Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Editora UNICAMP, Campinas, 2017, 21382150 p., Disponível em: In: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Acesso em: 24/01/2023.

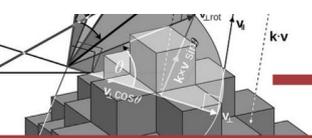
ROCHA, A. F. **Espectro cruzado e coerência wavelet: um estudo de variáveis micrometeorológicas em frações urbanas na cidade de Cuiabá, MT**. 2018. 100 p. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Pós graduação em Física Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018. Disponível em: <https://pgfa.ufmt.br/index.php/br/utilidades/teses>. Acesso em: 24/01/2023.

ROCHA, R. V.; SOUZA FILHO, F. A.; SILVA, S. M. O. Análise da Relação entre a Precipitação Média do Reservatório Orós, Brasil - Ceará, e os índices PDO e AMO Através da Análise de Changepoints e Transformada de Ondeletas. **Revista Brasileira de Meteorologia**. Rio de Janeiro, n.1, v.34, jan. 2019. Disponível em: Revista Brasileira de Meteorologia. Acesso em: 24/01/2023.

RODRIGUES, D. T. **Análise de eventos extremos de precipitação no Nordeste do Brasil**. 2019, 123 p. Tese de Doutorado (Ciências Climáticas) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/28110>. Acesso em: 24/01/2023.

ROCKWOOD, A. A.; MADDIX, R. A. Mesoscale and synoptic scale interactions leading to intense convection: The case of 7 June 1982. **Weather and Forecasting**, Denver, USA. n.1, v. 3, mar. 1988. Disponível em: [https://www.spc.noaa.gov/misc/AbtDerechos/papers/Rockwood\\_1988.pdf](https://www.spc.noaa.gov/misc/AbtDerechos/papers/Rockwood_1988.pdf). Acesso em 24/01/2023.

SANTOS, S. R. Q. *et al.* Determinação de Regiões Homogêneas do Índice de Precipitação Normalizada (SPI) na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, n.1, v. 32, mar. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/NftmjcnBMq7rFrZDbNNyqsH/?lang=pt>. Acesso em



23/01/2023.

SENA, J. P. O.; MORAIS NETO, J. M.; LUCENA, D. B. Variabilidade interdecadal da precipitação na região do Cariri Paraibano e a relação com eventos sobre os Oceanos. **Revista Brasileira de Climatologia**, Rio de Janeiro, n. 13, v. 20, jan. 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/318873876\\_VARIABILIDADE\\_DA\\_PRECIPITACAO\\_POR\\_DECADA\\_E\\_A\\_RELACAO\\_COM\\_OS\\_EVENTOS\\_EXTREMOS](https://www.researchgate.net/publication/318873876_VARIABILIDADE_DA_PRECIPITACAO_POR_DECADA_E_A_RELACAO_COM_OS_EVENTOS_EXTREMOS). Acesso em: 24/01/2023.

SILVA, G.; SANTOS, C. A. G. Análise da influência do ENOS na precipitação da Paraíba e Santa Catarina através da cross wavelet transform. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, n. 18, 2009, Campo Grande (MT). Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Editora ABRH, 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/305956468\\_Analise\\_da\\_influencia\\_do\\_ENOS\\_na\\_p\\_recipitacao\\_da\\_Paraiba\\_e\\_Santa\\_Catarina\\_atraves\\_da\\_cross\\_wavelet\\_transform](https://www.researchgate.net/publication/305956468_Analise_da_influencia_do_ENOS_na_p_recipitacao_da_Paraiba_e_Santa_Catarina_atraves_da_cross_wavelet_transform). Acesso em: 24/01/2023.

SILVA, P. R. F.; CALHEIROS, S. Q. C. O estado de Alagoas no contexto regional nordestino. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, Confins (SP), n. 41, set. 2019. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/21096>. Acesso em: 24/01/2023.

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**. 2015. p. 143 Tese (Doutorado em Clima e Ambiente) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Manaus, 2015. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/12949>. Acesso em: 24/01/2023.

SOUSA, F. *et al.* Estimativas dos riscos de chuvas extremas nas capitais do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife (PE), n. 2, v. 9, jun. 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233377>. Acesso em: 24/01/2023.

SOUZA, W. M. *et al.* Áreas de risco mais vulneráveis aos desastres decorrentes das chuvas em Recife-PE. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro, n. 34, dez. 2014. Disponível em: [https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes\\_RBCIAMB/article/view/219](https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/219). Acesso em: 24/01/2023.

VALE, R. S.; SANTANA, R.A.; DIAS-JÚNIOR, C. Q. Análise de dados climáticos usando transformada em ondeletas cruzada e coerência. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife (PE), n. 2, v. 13, jul. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/242478>. Acesso em: 24/01/2023.

WENG, H.; LAU, K. M. Wavelets, period doubling, and time-frequency localization with application to organization of convection over the Tropical Western Pacific. **Journal of the Atmospheric Sciences**, Boston (USA), n.17, v.51, n.17, jul. 1994. Disponível em: [https://journals.ametsoc.org/view/journals/atsc/51/14/1520-0469\\_1994\\_051\\_2145\\_mmatat\\_2\\_0\\_co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/atsc/51/14/1520-0469_1994_051_2145_mmatat_2_0_co_2.xml). Acesso em: 24/01/2023.