

Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação em Maceió-AL e de suas causas climáticas

Iara Bezerra da Silva CAVALCANTE¹, Djane Fonseca DA SILVA² & Cavalcanti Borba BRANDÃO³

¹ Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal do Alagoas. Av. Lourival de Melo Mota, S/N, Cidade Universitária, CEP 57.072-900, Maceió, AL, Brasil (iarabscavalcante@gmail.com)

² Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas. Av. Lourival de Melo Mota, S/N, Cidade Universitária, CEP 57.072-900, Maceió, AL, Brasil (djane.silva@icat.ufal.br)

³ Defesa Civil de Maceió, Rua Cônego João Barros Pinho, 107, Pinheiro, CEP 57.052-493, Maceió, AL, Brasil (borbajoanna@gmail.com)

Resumo. O objetivo desta pesquisa é analisar espacialmente as precipitações em Maceió, identificando as áreas mais vulneráveis à ocorrência de desastres decorrentes de eventos extremos. A área de estudo é o município de Maceió, que se encontra na região leste de Alagoas e possui clima Tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa no outono e inverno. Foram usados dados mensais de precipitação pluviométrica para 13 estações automáticas, de 2015 a 2020, obtidos junto à Defesa Civil Municipal. Utilizou-se nesta pesquisa métodos estatísticos como o Índice Padronizado de Precipitação, Análise de Agrupamentos, *BoxPlot*, Análise de Tendências, Teste de significância de T-Student, Análise de Ondaletas e Ondaleta Cruzada, a qual identifica as causas climáticas dos eventos extremos. Climatologicamente, Maceió apresenta duas regiões homogêneas, a R1 e R2, com valores menores na R1, tendo diminuição na precipitação, enquanto a R2 teve aumento de chuva, com a influência de escalas sazonal, interanual, manchas solares, ENOS, entre outras, que contribuíram para os eventos de secas/chuvas em Maceió.

Palavras-chave: Eventos extremos, Precipitações, Índice Padronizado de Precipitação, Análise de Agrupamento, Análise de Ondaletas.

Abstract. ANALYSIS OF THE SPATIO-TEMPORAL VARIABILITY OF RAINFALL IN MACEIÓ-AL AND ITS CLIMATE CAUSES. The objective of this research is to spatially analyze the rainfall in Maceió, identifying areas most vulnerable to the occurrence of disasters resulting from extreme events. The study area is the municipality of Maceió, which is located in the eastern region of Alagoas and has a rainy tropical climate with dry summer and rainy season in autumn and winter. Monthly rainfall data were used for 13 automatic stations, from 2015 to 2020, obtained from the Municipal Civil Defense. Statistical methods were used in this research, such as the Standardized Precipitation Index, Cluster Analysis, *BoxPlot*, Trend Analysis, T-Student Significance Test, *Wavelet* Analysis and Cross *Wavelet*, which identifies the climatic causes of extreme events. Climatologically, Maceió has two homogeneous regions, R1 and R2, with lower values in R1, with a decrease in precipitation, while R2 had an increase in rainfall, with the influence of seasonal, interannual scales, sunspots, Enos, among others, which contributes to the drought/rain events in Maceió.

Keywords: Extreme Events, Precipitation, Standardized Precipitation Index, Cluster Analysis, *Wavelet* Analysis.

1 Introdução

Os impactos dos eventos climáticos 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. Conforme Souza *et al.* (2014) a crescente preocupação associa-se às recentes evidências do incremento na frequência e intensidade de desastres que estão associados às variabilidades e mudanças climáticas.

Os desastres desencadeiam processos físicos, entretanto, a forma e intensidade com que atingem áreas ou regiões habitadas pelo homem ocasionando-lhe danos ou uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade e/ou sociedade, que envolve perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais de grande dimensão, dos quais os impactos ultrapassam a capacidade da comunidade ou da sociedade afetada de arcar com seus próprios recursos está associada ao grau de modificação que a ocupação e os usos causam na paisagem (Leal Neto *et al.*, 2019).

Apesar de acreditar-se que a precipitação em toda Maceió é semelhante, ou seja, chove a mesma quantidade em todos os bairros, há a necessidade de mostrar as regiões mais homogêneas da capital, identificando os bairros com maiores valores pluviométricos, contribuindo para a prevenção de eventos extremos.

Os bairros de Maceió sofrem a influência de eventos e sistemas meteorológicos, dentre eles, o ENOS (*El Niño-Southern Oscillation*), que é a interação oceano-atmosfera mais conhecida, sendo uma flutuação climática mais forte na Terra em escalas de tempo interanuais, que representa impactos globais, apesar de ser originário do Oceano Pacífico tropical (Oliveira *et al.*, 2017).

Contudo, esta pesquisa tem como objetivo analisar espaço e temporalmente as precipitações em Maceió, identificando as áreas mais vulneráveis à ocorrência de

desastres decorrentes das chuvas, identificando áreas com precipitações semelhantes, e conseqüentemente, descobrir qual a causa climática para ocorrência de sua variabilidade.

2 Área, materiais e métodos

2.1 Localização da área

Com 26 estados mais o Distrito Federal, Alagoas (Figura 1) é o segundo menor estado do Brasil. Localizada na região NE, a capital Alagoana possui área total de 509.552 km², e está compreendida 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; Köppen, 1900). 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 1A e B).

De acordo com dados do IBGE (2020) a população estimada de Maceió é de 1.025.360 pessoas, que está dividida em 53 bairros (Figura 2).

2.2 Materiais

Os dados mensais de precipitação pluviométrica de 2015 a 2020 são para treze estações automáticas de Maceió, estando distribuídas em onze bairros, sendo os bairros Tabuleiro do Martins 1 e Tabuleiro do Martins 2, e Farol 1 e Farol 2. Esses dados foram obtidos juntos à CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais) da Defesa Civil Municipal, não havendo falhas no período de estudo.

Na Tabela 1 encontram-se as 13 estações meteorológicas de Maceió que participarão deste estudo, com a latitude e longitude de cada um.

2.3 Métodos

2.3.1 Índice Padronizado de Precipitação (IPP)

Para calcular o IPP 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, quem tem limite inferior ou igual a zero, não possuindo limite superior, por tanto, é bastante utilizada para estudar séries históricas de precipitação (Santos *et al.*, 2017 apud Lima *et al.*, 2018):

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

onde: $\alpha > 0$ 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 IPP. Em que o IPP 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):

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

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

As categorias de seca e de chuva anômala, conforme o IPP, descritas por McKee *et al.* (1993) e adaptada por Lima *et al.* (2018) é dada na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação e valores do IPP (McKee *et al.*, 1993 adaptada de Lima *et al.*, 2018).
Table 2. IPP classification and values (McKee *et al.*, 1993 adapted from Lima *et al.*, 2018).

Valores de IPP	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

2.3.2 Cluster Analysis ou Análise de Agrupamentos

A técnica de Ward, é dada pela Equação 3, que procura por partições que diminuem a perda associada a cada agrupamento, em que a perda pode ser quantificada pela diferença entre a soma dos erros quadráticos de cada padrão e a média da partição em que está contida (Araújo *et al.*, 2008; Amanjás *et al.*, 2010 apud Bonfim, 2018):

$$SEQ = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \quad (3)$$

onde: SEQ é a soma dos erros quadráticos; n é o número total de elementos do agrupamento e x_i é o n-ésimo elemento do agrupamento.

A distância euclidiana é utilizada para medir a dissimilaridade entre dois indivíduos x_i e x_j , que é expressada pela Equação 4:

$$d_{ij} = [\sum_{k=1}^n p_i(x_{i,k} - x_{j,k})^2]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

em que: $x_{j,k}$ representa os valores mensais dos locais x_i e x_j e π_i é o peso associado a cada indivíduo.

2.3.3 BoxPlot

O *BoxPlot* foi proposto pela primeira vez pelo estatístico John Tukey (1977), e são representações gráficas de dados que fornecem uma visão geral e um resumo numérico de um conjunto de dados. No gráfico é mostrado um retângulo com duas linhas que se estende de bordas opostas da caixa e uma linha adicional na caixa, que cruza paralelamente as bordas (Ferreira *et al.*, 2016).

O Método do *BoxPlot* é utilizado por ser uma ferramenta gráfica simples para análise exploratória que possibilita o resumo de uma série temporal de estudo, podendo ser utilizado na análise de valores extremos de precipitação e como ferramenta diagnóstica para o monitoramento da variabilidade mensal, sazonal e anual da chuva observada em uma determinada localidade. Para construir o gráfico de forma simplificada, é necessário determinar o mínimo e máximo valor da série, do primeiro e terceiro quartis, que delimitam respectivamente 25% (menores observações) e o valor que deixa 75% abaixo desse valor, a mediana, que descreve o centro da distribuição, e o valor da média (Sena *et al.*, 2017).

2.3.4 Análise de Tendências

É necessário avaliar a existência de correlação serial nas séries pelo teste não paramétrico de sequências, submetendo-as ao teste de Mann-Kendall, que é um teste também não paramétrico utilizado para avaliação da existência de uma tendência eventual. Para as séries que passam no teste de sequência, deve-se usar o teste de Mann-Kendall modificado para levar em conta a autocorrelação, sendo as tendências significativas removidas inicialmente, sendo a Equação 5 a estatística do teste (Hamed & Rao, 1998; Sansigolo & Kayano, 2010 apud Lopes & Da Silva, 2013):

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (5)$$

sendo: x_j representam os dados estimados da sequência de valores, n é o comprimento da série temporal e o sinal $(x_i - x_j)$ é igual a -1 para $(x_i - x_j) < 0$, 0 para $(x_i - x_j) = 0$, e 1 para $(x_i - x_j) > 0$.

Kendall (1975) mostrou que S normalmente é distribuída com média $E(S)$ e variância $\text{Var}(S)$, para que uma situação em que pode haver valores iguais de x , que são calculadas pelas equações 6 e 7:

$$E[S]=0 \quad (6)$$

$$\text{Var}[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (7)$$

em que: t_p é o número dos dados com valores iguais em um certo grupo, p th e q são os números de grupo contendo valores iguais na série de dados em um determinado grupo p .

No teste estatístico parametrizado (ZMK) (Equação 8) a presença de uma tendência estatisticamente significativa avalia-se usando o valor de Z , sendo essa estatística utilizada para testar a hipótese nula, ou seja, nenhuma tendência existe. O valor positivo de ZMK indica um aumento da tendência, quando negativa indica decrescente.

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

Avalia-se a presença de uma tendência estatisticamente significativa com o uso do valor de Z . Essa estatística emprega-se para teste de hipótese nula, ou seja, que não existe tendência. Um valor positivo de ZMK indica um aumento da tendência; quando negativa, indica tendência decrescente. Para testar a tendência crescente ou decrescente no nível de significância de p , a hipótese nula será rejeitada se o valor absoluto de Z for superior 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 $p=0,05$ aplicaram-se neste estudo.

2.3.5 Teste de Significância de T-Student

Os testes paramétricos são preferenciais para análises de dados quantitativos, por possuírem maior capacidade de detectar diferenças, dessa forma, testes como o de T-Student sempre que possível devem ser utilizados em dados quantitativos (Wagner, 1998).

O teste de T-Student é um teste de significância amplamente utilizado nos estudos e pesquisas na área da Meteorologia (Kayano & Kousky, 1996; Figueroa, 1997; Castro, 2002; Da Silva, 2009; Souza Neto, 2019; Bonfim, 2018), podendo ser calculado conforme a Equação 9:

$$t_c = \frac{t}{\sqrt{n-2}} + t^2 \quad (9)$$

sendo: t_c o valor do percentil e c é o grau de liberdade; $c = 0,95$ ou 95% ; t = valor do percentil tabelado de acordo com u ($n-1$); n = número de dados.

2.3.6 Análise de Ondeletas/Ondaletas ou Wavelet (AO)

Primeiramente, os índices de precipitação devem ser tratados e em seguida, submetidos à AO. Os índices são as anomalias das variáveis, que são calculadas a partir da climatologia mensal e normalizada pelo desvio padrão, como na Equação 10 (Da Silva, 2009):

$$AVar_{i,j} = (Var_{i,j} - \overline{Var}_i) / \sigma_i \quad (10)$$

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 σ_i é o desvio padrão utilizado para cada mês i específico.

A Ondelela de Morlet é definida como uma exponencial complexa modulada por uma Gaussiana, que é dada pela Equação 11 (Andreoli et al., 2004 apud Da Silva, 2017):

$$\psi(t) = e^{i\omega_0 t - \eta^2 / 2} \quad (11)$$

em que: $\eta = t/s$, onde t é o tempo, s é a escala da ondaleta em função do tempo ($= 2/dt$) e ω_0 é uma frequência não-dimensional ($lag1 = 0,7$), escolhidos conforme Andreoli et al. (2004); Todos introduzidos no "script" de programação do Software Matlab®.

2.3.7 Coerência e Fase da Ondaleta

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 se distribuem 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 12 (Torrence & Compo, 1998; Torrence & Webster, 1999; Grinsted et al., 2004 apud Blain & Kayano, 2011):

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

$$\text{Para } k=0 \dots j/2 \quad \text{e} \quad \alpha = \frac{r_1 + \sqrt{r_2}}{2} \quad (12)$$

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 11 que se a série em análise for 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 13. Em que a Equação 13 é a forma de investigação estatística denominada de análise cruzada de ondaleta (Blain & Kayano, 2011):

$$\left| \frac{W_n(S)}{\sigma^2} \right|^2 = \frac{1}{2} P_k \chi_2^2 \quad (13)$$

onde: σ^2 é a variância da série temporal, χ_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 14, 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):

$$R_n^2 = \frac{|S(s^{-1}W_n^{XY}(s))|^2}{S(s^{-1}|W_n^{X(s)}|^2) \cdot S(s^{-1}|W_n^{Y(s)}|^2)} \quad (14)$$

onde: S é o operador de suavização. E o S é dado pela Equação 15:

$$S(W) = S_{escala}(S_{tempo}(W_n(s))) \quad (15)$$

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 as equações 16 e 17, para a ondeleta-mãe de Morlet:

$$S_{tempo}(W) \Big|_s = (W_n(s) \otimes c_1^{\frac{-t^2}{2s^2}}) \Big|_s \quad (16)$$

$$S_{escala}(W) \Big|_s = (W_n(s) \otimes c_2 \Pi(0,6s)) \Big|_s \quad (17)$$

em que: c_1 e c_2 são as constantes de normalização e Π é a função retângulo, o fator 0,6 é determinado empiricamente para a função ondeleta de Morlet.

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 18) (Rocha *et al.*, 2019):

$$C_t = \sum_{i=1}^{m+1} [C(y_{\tau_i-1:\tau_i})] + \beta f(m) \quad (18)$$

sendo: 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 fatos de penalidade e C_t é o custo total.

A realização da medição de coerência de fase da ondeleta é realiza 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 & Webster (1999) dão a diferença de coerência de fase através da Equação 19 (Vale *et al.*, 2020):

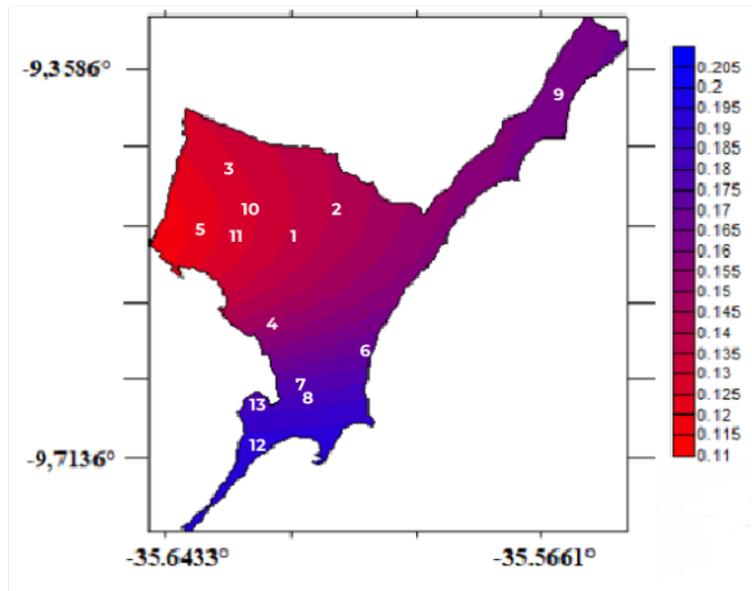
$$\Phi_n(S) = \text{tg}^{-1} \left(\frac{\Im\{s^{-1}W_n^{xy}(s)\}}{\Re\{s^{-1}W_n^{xy}(s)\}} \right) \quad (19)$$

onde: as partes real (\Re) e imaginária (\Im) poderiam já ser calculadas na Equação 15. Tanto R_n^2 quanto $\Phi_n(s)$ são funções do índice de tempo n e escala s . A suavização nas equações 15 e 17 é realizada usando convolução na direção do tempo escala.

3 Resultados

3.1 Espacialização do IPP

Os valores médios anuais de IPP, conforme mostrado na Figura 3, classifica os bairros de Maceió como eventos normais, sendo a parte baixa (7, 8, 12 e 13) e todo as estações meteorológicas localizadas no litoral (6 e 9) mais chuvosos em relação aos bairros da parte alta (1, 2, 3, 5 10 e 11). As OL (ondas de leste) citadas por Reboita *et al.* 2010, que são mais frequentes durante o outono e inverno, e aos sistemas vindos do Hemisfério Sul, tendo a influência e/ou resquícios de sistemas frontais (Andrade, 2005), são alguns exemplos de sistemas meteorológicos que afetam na distribuição pluviométrica da Capital, ou seja, é possível notar que a precipitação ocorre com maior intensidade na costa de Maceió e diminui ao adentrar o continente.



1-Antares; 2-Benedito Bentes; 3-Cidade Universitária; 4-Chã da Jaqueira; 5-Clima Bom; 6-Cruz das Almas; 7-Farol 1; 8-Farol 2; 9-Ipioca; 10-Tabuleiro do Martins 1; 11-Tabuleiro do Martins 2; 12-Trapiche da Barra; 13-Vergel.

Figura 3. Mapa do IPP anual para Maceió.
Figure 3. Annual IPP Map for Maceió.

Em Maceió, as chuvas mais intensas ocorrem durante o outono e inverno austral, o que causa transtornos à população, como inundações, desabamentos de encostas, pessoas desabrigadas, problemas no trânsito, entre vários outros problemas, como noticiado pelo G1 (2013), e, também, presentes nos artigos de Rodrigues *et al.* (2017) e Farias (2021).

3.2 Análise de agrupamentos e IPP

Com base nos cálculos de IPP, foi feita a análise de agrupamentos utilizando o Software SPSS para o período de dados de Maceió, de 2015 a 2020 para construir o dendograma (Figura 4) anual, no qual, no eixo vertical é identificadas as 13 estações meteorológicas da capital, enquanto, que, no eixo horizontal encontra-se a distância euclidiana, que, quanto menor essa distância, maior a similaridade entre as estações.

Foram feitas análises para o período anual (Figura 8) e sazonal (Figuras 10, 12, 14 e 16), conforme também realizado por Machado *et al.* (2010), para analisar a

variabilidade da precipitação nos bairros em diferentes períodos.

3.2.1 Análise de Agrupamentos e IPP para o período Anual

Para a média do IPP anual (Figura 4), foram identificadas e separadas em grupos pela análise de agrupamentos duas regiões classificadas como R1 (Região 1) e R2 (Região 2), assim, foi possível identificar as maiores semelhanças de acordo com a distância euclidiana. Foi identificado, conforme a análise de agrupamentos (Figura 4), que na R1, o Benedito Bentes e a Cidade Universitária têm menor distância euclidiana, o que significa que dentre as cinco estações meteorológicas, são as mais semelhantes pluviometricamente. Enquanto, que na R2, Chã da Jaqueira e Trapiche apresentaram maior semelhança na precipitação e o Vergel teve a menor similitude com as outras estações, como em Freitas *et al.* (2013) obtendo também resultados satisfatórios em sua pesquisa.

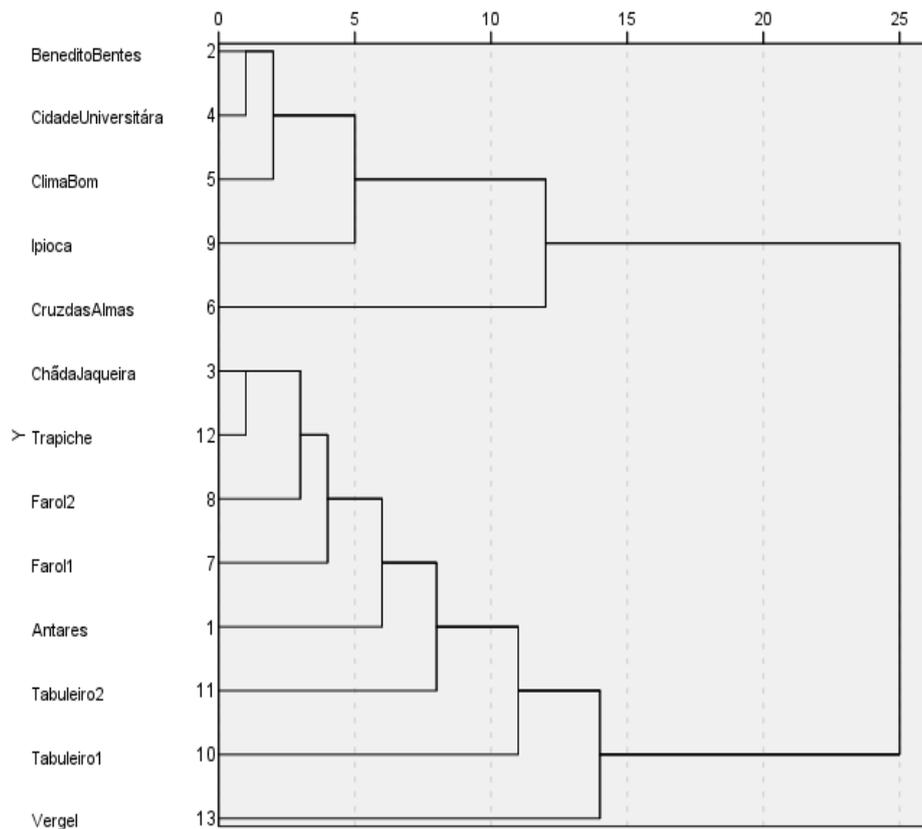


Figura 4. Análise de Agrupamentos do IPP dos Bairros de Maceió, com média anual.

Figure 4. Analysis of IPP Clusters of Neighborhoods of Maceió, with annual average.

A Figura 5A apresenta todas as classificações pelo IPP de seca a chuva, as secas extremas e secas severas, representam 1% cada, e todas as secas representam 25%, sendo a seca leve (16%) a que apresentou maior valor entre as secas, já as chuvas, totalizaram 29% de todo o total dos eventos, sendo a chuva leve (10%) a que dominou, e chuva extrema (5%) que teve menor registro, dentre o total classificado, a classe quase normal (46%) foi o mais predominante, superando o total das secas e de chuvas.

Ao analisar a Figura 5B, nota-se que não há presença de eventos classificados pelo IPP como seca extrema, porém, todas as secas identificadas obtêm-se porcentagem total igual a 26%, sendo a seca classificadas como moderada (9%) e a seca leve (13%) as de maiores valores, já para o período chuvoso, a

chuva leve (14%) obteve o maior IPP de todos os eventos, e a chuva extrema (5%) o menor, totalizando 31% do total dos eventos.

A classificação do IPP para as duas regiões (R1 e R2) apresentaram valores semelhantes, apesar de na figura 9A ter a presença de eventos de seca extrema, enquanto na Figura 5B não tem esse evento. Os valores de todas as secas apresentaram um total de 26%, e de chuvas 29% na R1, já na R2 as secas totalizaram 25% e as chuvas 33%. De modo geral, nas duas regiões o evento classificado pelo IPP como quase normal foi o que predominou, seguido pelo evento de seca leve, e para os menores valores de eventos, foi a seca extrema e a seca leve, esses valores obtidos correspondem com o encontrado por Da Silva *et al.* (2020) para Maceió.

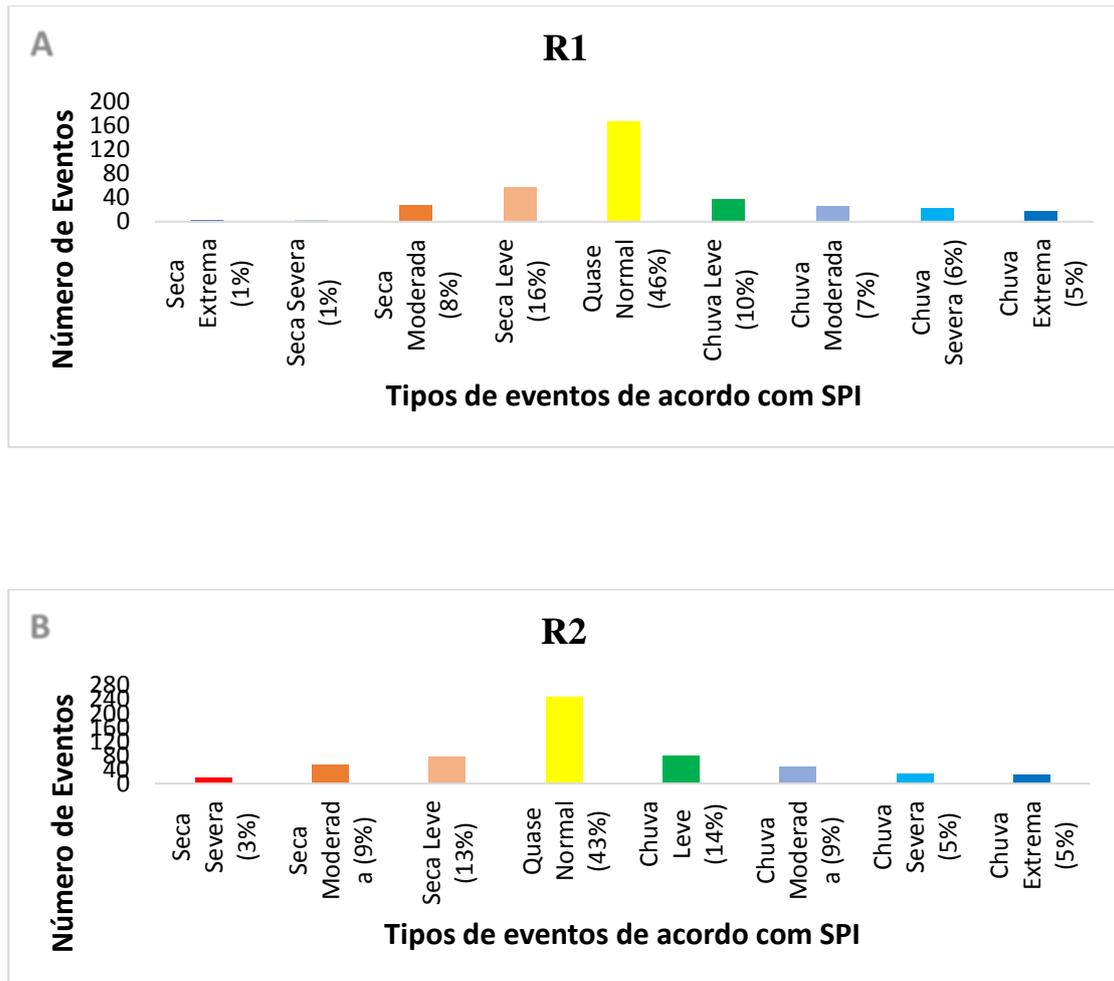


Figura 5. IPP anual: A) Região 1 (R1); B) Região 2 (R2).
 Figure 5. Annual IPP: A) Region 1 (R1); B) Region 2 (R2).

3.2.2 Análise de Agrupamentos e IPP para o Verão

Na cluster dos meses de verão (DJF) (Figura 6) as estações mais homogêneas na R1 foram Chã da Jaqueira com Trapiche, Farol 1 e Tabuleiro 1, que formaram um subgrupo com as quatro estações, enquanto que a semelhança entre a Cidade Universitária e Ipioca com as outras estações foi menor. Na R2 Farol 2 e Vergel tiveram maiores tiveram suas características parecidas, e Cruz das Almas distanciou-se mais da semelhança das duas estações.

Menezes *et al.* (2015) utilizaram a análise de agrupamentos para o Estado do Pará, onde o verão ocorre em época diferente da de Maceió. Ao comparar a média anual (Figura 6) com a média do verão (Figura 10), nota-se que as estações apresentaram diferenças, corroborando com Menezes *et al.* (2015). Na Figura 6 a maioria das estações apresentaram maiores semelhanças, ficando agrupadas na R1, e apenas Farol 2, Vergel e Cruz das Almas foram semelhantes, formando a R2, e apresentaram heterogeneidade com a R1.

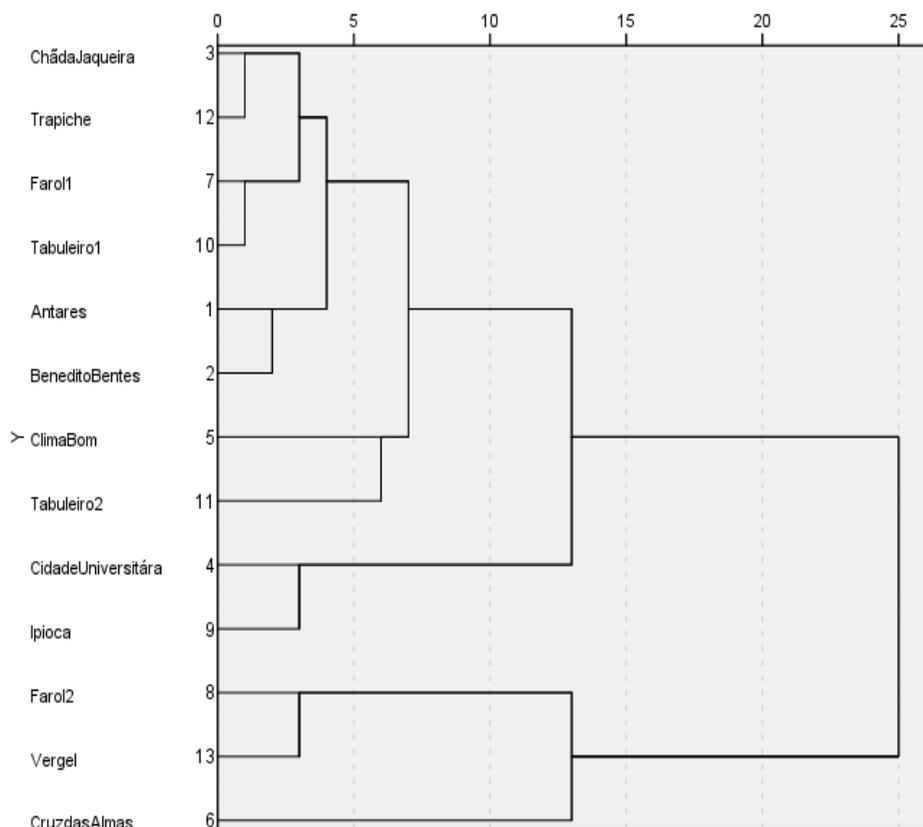


Figura 6. Análise de Agrupamentos do IPP dos Bairros de Maceió, média do verão (DJF).
 Figure 6. IPP Cluster Analysis of Neighborhoods of Maceió, summer average (DJF).

Durante o período do verão (Figura 7) observa-se as diferenças entre a R1 (Figura 7A) e a R2 (Figura 11B) como foi agrupado pela cluster (Figura 7). Na figura 7A ocorreram todos os eventos de secas, sendo a de maior número a seca leve (18%) e a seca extrema representou apenas 1% de todos os eventos classificados pelo IPP, todas as secas representam 31%, já o IPP para chuvas identificou 31% das chuvas, em que a chuva leve representa 13%, que foi a que mais ocorreu, e a chuva extrema (3%) a de menor ocorrência, e para o período quase normal, foi totalizado 38% dos eventos.

Na Figura 7B, em que mostra a R2, a seca leve (17%) foi a que predominou entre as classes do IPP como evento de seca, e a seca severa representou apenas 2% dos eventos de IPP, o período quase normal representa 37% de todos os eventos, já as chuvas totalizaram

39%, sendo a chuva leve a que mais teve casos com 22%, e a chuva severa (2%) teve o menor número de eventos.

Ao comparar as duas regiões através dos gráficos de IPP, nota-se que a R1 obteve as mesmas porcentagens de eventos para as secas (31%) e para as chuvas (31%), enquanto que na R2 os eventos de chuva (39%) superaram os eventos de seca (24%), já o evento quase normal tiveram porcentagens semelhantes para as duas regiões, sendo a R1 com 38% e a R2 com 37%. Contudo, a R2 durante o período de verão obteve os maiores números de IPP para os eventos de secas, se comparada a R2. Apesar de serem dados para o verão, Maceió não apresentou valores superiores de seca, como foi encontrado por Carmo & Lima (2020) para a região do Nordeste.

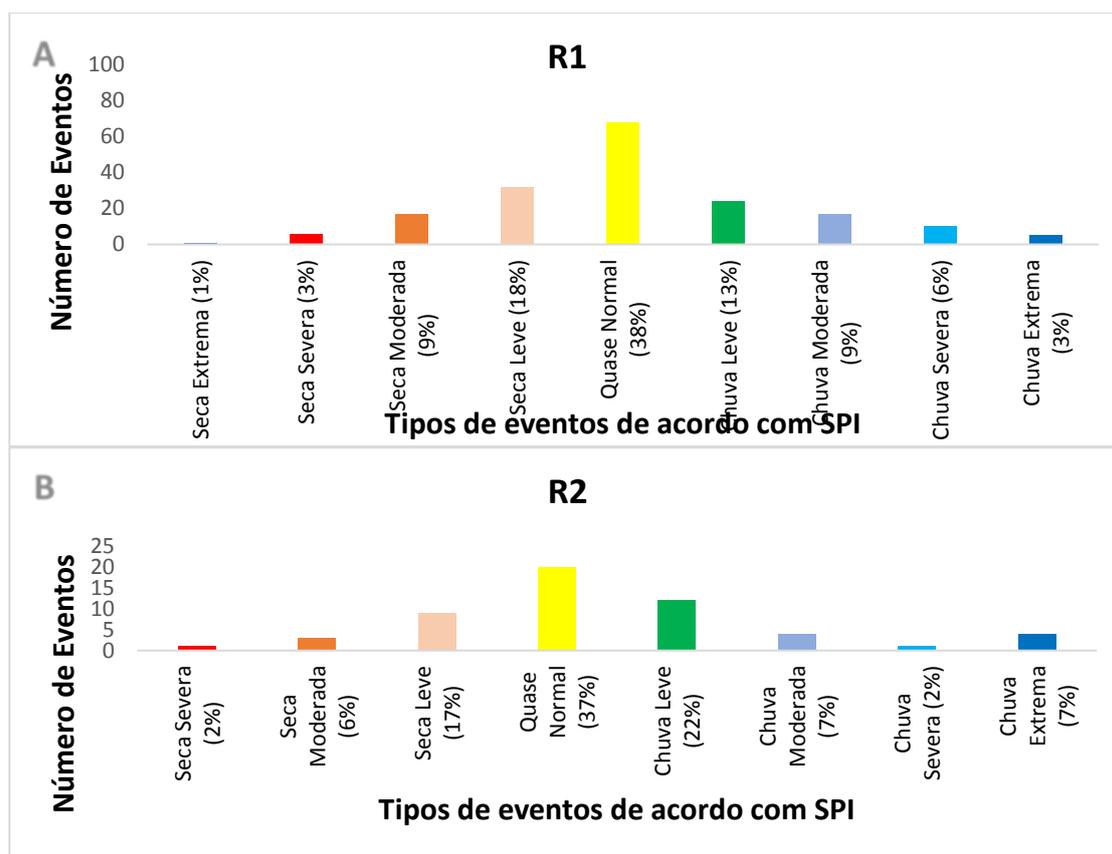


Figura 7. IPP para o verão (DJF): A) Região 1 (R1); B) Região 2 (R2).

Figure 7. IPP for summer (DJF): A) Region 1 (R1); B) Region 2 (R2).

3.2.3 Análise de Agrupamentos e IPP para o Outono

O dendograma do período do outono (MAM) mostrado na figura 8, teve as maiores semelhanças na R1 entre Benedito Bentes, Cidade Universitária e Clima Bom, tendo valores mais homogêneos em relação às outras estações deste grupo. Na R2 Farol 2 e Vergel, Chã da Jaqueira e Tabuleiro 2 apresentaram características iguais, enquanto Tabuleiro 1 foi a mais heterogênea com as outras regiões, esse método de agrupamento também foi utilizado por Melo *et al.* (2017) que separou as regiões com pluviométricos semelhantes na Bahia. No período do outono (Figura 8), as estações apresentaram as

mesmas distribuições que o período anual (Figura 8), o que mostra que não há variações significativas durante estes dois períodos (anual e outono).

Os gráficos do IPP para a R1 e R2 (Figura 9) mostram o número de eventos classificados pelo IPP em cada grupo durante o outono. Analisando os eventos de secas, a seca extrema (1%) é a que tem menor número de casos, enquanto que a seca leve representa 16% desse evento, já para os eventos de chuvas, a chuva leve obtém 10% dos eventos, sendo o maior evento desse grupo, e a chuva moderada significa 2%, por fim, as chuvas severa e extrema totalizam 14% do total de eventos.

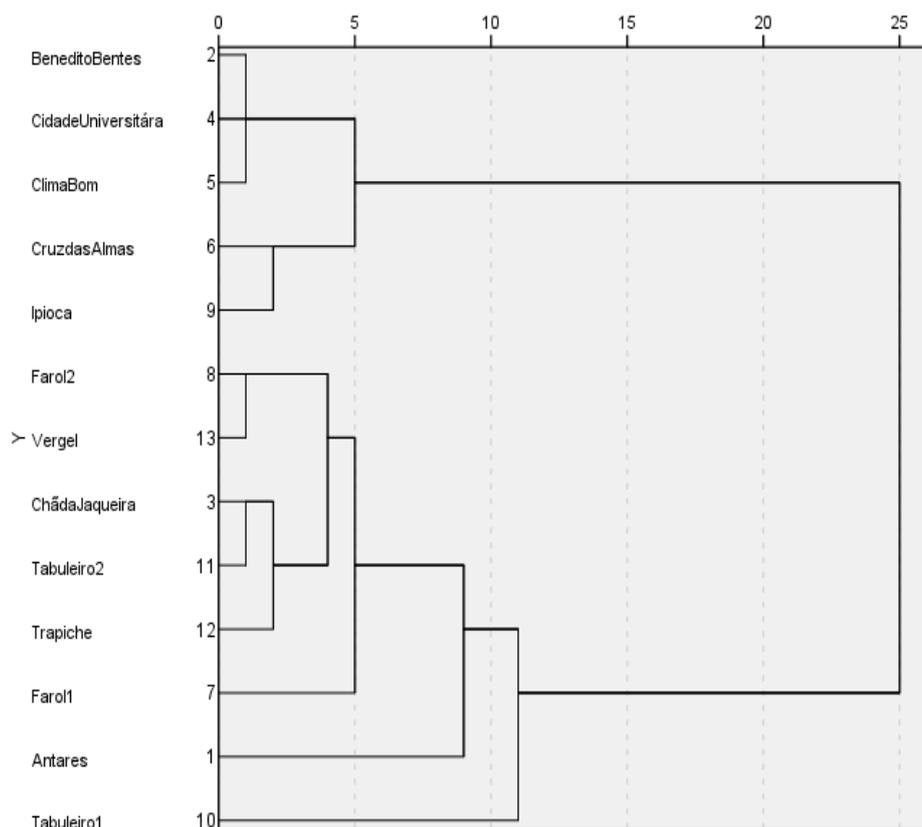


Figura 8. Análise de Agrupamentos do IPP dos Bairros de Maceió, média do outono (MAM).
 Figure 8. IPP Cluster Analysis of Neighborhoods of Maceió, autumn average (MAM).

Assim como a R1, a R2 (Figura 9B) também teve 52% de evento classificado como quase normal, no grupo das secas, a seca leve (12%) representa tem o maior número de casos das secas, seguida da seca severa (3%) e seca moderada (3%). Já as chuvas, que representam 29% de todos os eventos, ocorrendo mais casos de chuva moderada (10%), enquanto que a chuva extrema, que é a de máxima intensidade de acordo com as classes do IPP, chega a 7% do total de eventos, e a chuva severa (4%) é a que tem menor número de casos.

Comparando a Figura 9A com a Figura 9b, apesar de ambas regiões terem

porcentagens semelhantes, é identificado maior número de eventos de secas na R1 com 22% do total dos eventos, já na R2 apenas 19%, ao contrário dos eventos de chuvas, que ocorreram com maior frequência na R2 (29%), e na R1 obteve 26% da precipitação das estações estudadas, e como observado, o evento classificado como quase normal representa 52% tanto para a R1 quanto para a R2. Os períodos com IPP para eventos mais secos assemelham-se com estudos de Santos *et al.* (2017) para Amazônia, e de Silva & Mandú (2020) para Brasília, que obtiveram maiores valores negativos de IPP.

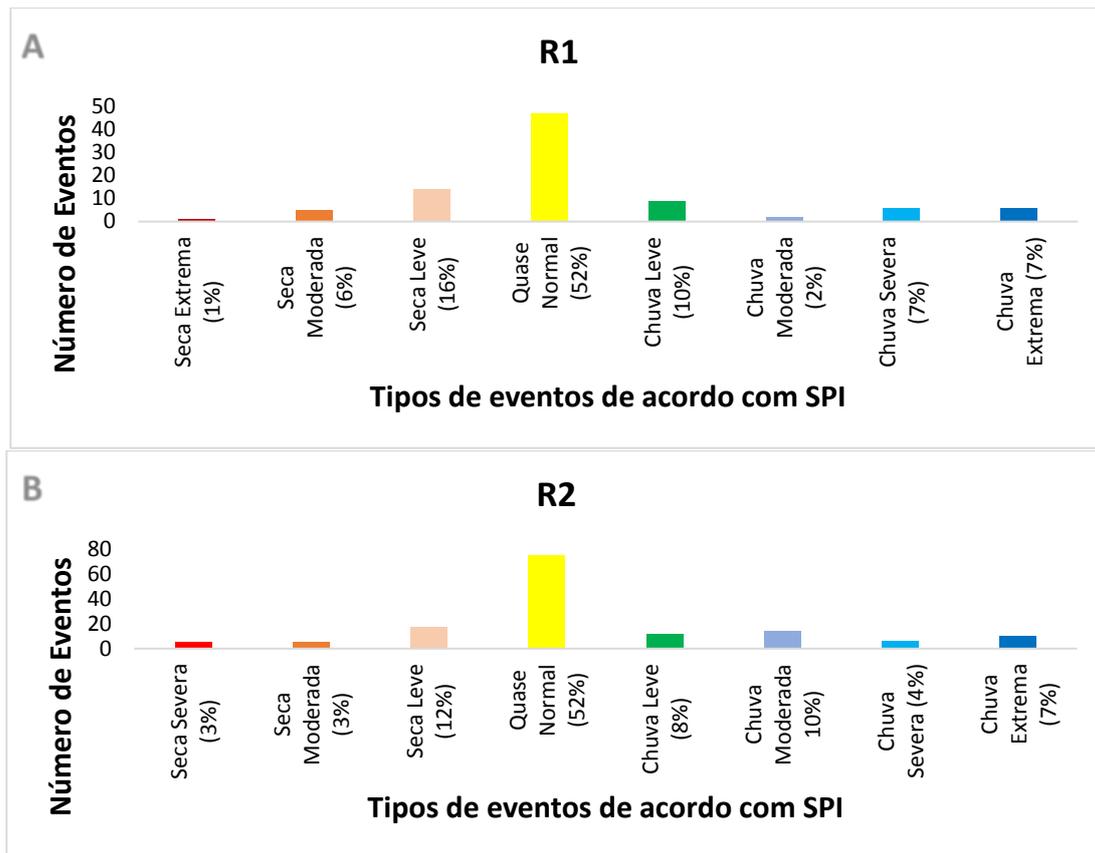


Figura 9. IPP para o outono (MAM): A) Região 1 (R1); B) Região 2 (R2).
 Figure 9. IPP for autumn (MAM): A) Region 1 (R1); B) Region 2 (R2).

3.2.4 Análise de Agrupamentos e IPP para o Inverno

Nos dados para o inverno (JJA) (Figura 10) as estações que se destacaram na R1 em relação à homogeneidade foram a Chã da Jaqueira e Farol 2 e Farol 1 e Tabuleiro 2, Cidade Universitária, Clima Bom e Benedito Bentes. Já na R2 o Tabuleiro 1 e o Trapiche foram mais homogêneos, porém, Cruz das Almas apresentou uma pequena semelhança com essas duas estações. Na pesquisa realizada por Guedes *et al.* (2010) para o Estado do Piauí, através da análise de agrupamentos, os maiores valores de chuva foram encontrados para o período do inverno, corroborando com este estudo.

Para os eventos classificados no IPP foi feito o gráfico (Figura 11) para melhor ser observado os eventos. Na Figura 15A o evento classificado pelo IPP como quase normal tem porcentagem de 31%, enquanto que os eventos classificados como secas totalizaram 36% de todos as classes do IPP.

Dentre as três secas identificadas, a seca moderada (17%) foi a que teve mais eventos identificados, e a seca severa obteve apenas a porcentagem de 5%. Já os eventos classificados como chuvas, a chuva leve (19%) teve maior número de eventos, e a chuva severa (3%) teve o menor valor de todos os eventos classificados pelo IPP, esses eventos de precipitação totalizaram 33%.

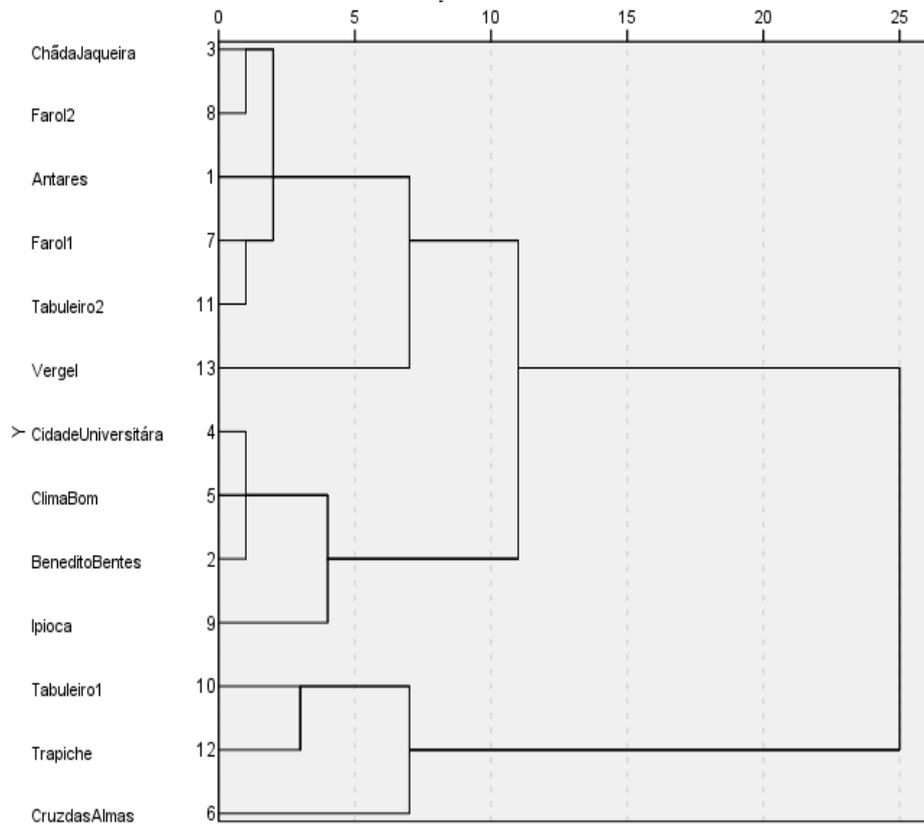


Figura 10. Análise de Agrupamentos do IPP dos Bairros de Maceió, média do inverno (JJA).
 Figure 10. IPP Cluster Analysis of the Neighborhoods of Maceió, winter mean (JJA).

Os eventos do grupo R2 (Figura 11B) mostram que a seca moderada (14%) teve o maior número de eventos dentre essa classificação, e a seca severa significou 3% do total dos eventos, enquanto que para a classificação das chuvas, o que totaliza uma porcentagem total de 31%, em que a chuva leve e chuva moderada com 12% cada, representando os maiores eventos, já a chuva extrema obtém apenas 1% do total, a classificação para evento quase normal foi a de maior porcentagem, sendo 41%.

Na Figura 15A os eventos classificados como chuvas (33%) e secas (36%) tiveram maiores ocorrências em relação a Figura 15B, em que as chuvas totalizaram 31% e as secas 28%, porém, o período quase normal da R2 (Figura 15B) totalizou 41%, enquanto que na R1 (Figura 11A) essa mesma classificação é de 31%. Como pode ser observado, nas duas regiões (R1 e R2) de Maceió o período classificado como normal foi o que teve maior quantidade de ocorrências dos eventos, ao contrário do resultado encontrado por Fachine (2015) para o Ceará.

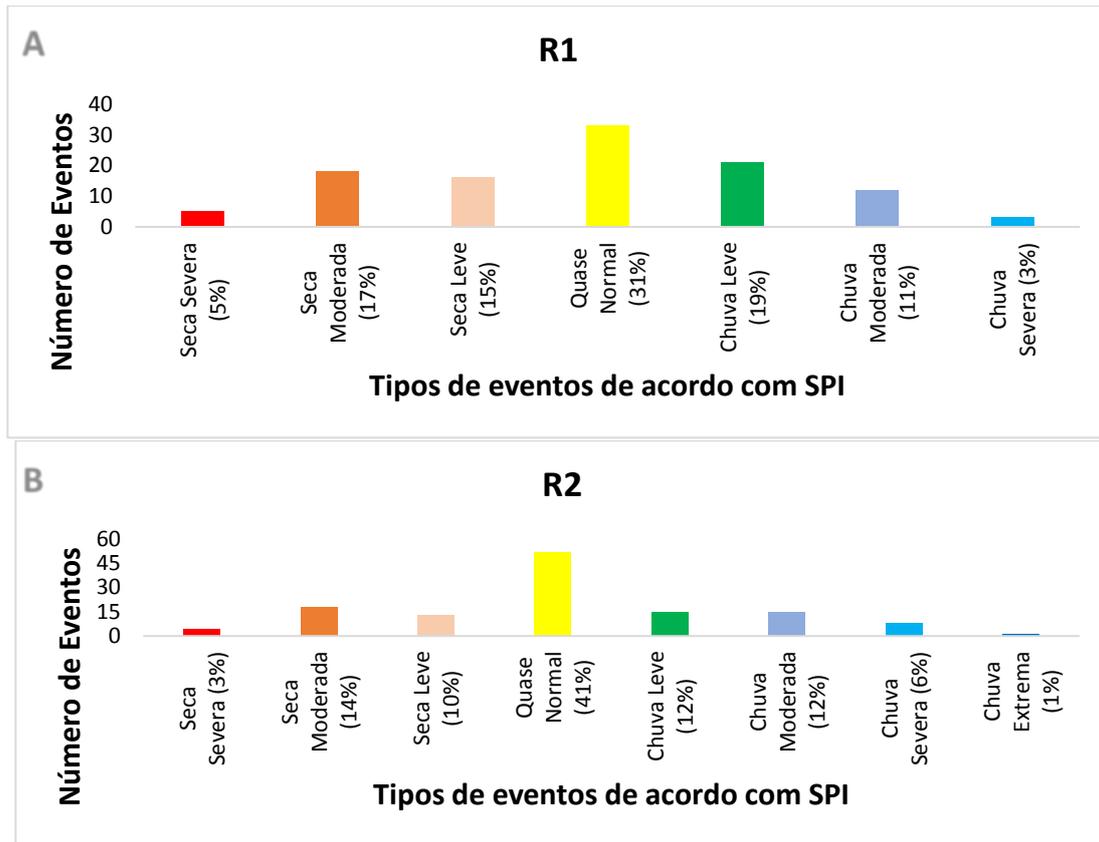


Figura 11. IPP para o inverno (JJA): (a) Região 1 (R1) e (b) Região 2 (R2).

Figure 11. IPP for winter (JJA): A) Region 1 (R1); B) Region 2 (R2).

3.2.5 Análise de Agrupamentos e IPP para a Primavera

Na Figura 12 em que foi feita a análise de agrupamentos para o período da primavera (SON), a maior parte das estações ficaram na R1, em que, Chã da Jaqueira e Farol 2, Farol 1 e Trapiche, Cidade Universitária, Clima Bom e Antares, e Benedito Bentes e Tabuleiro 1 foram as que tiveram valores de precipitação mais semelhantes. Na R2, formada apenas pela estação de Vergel, teve pouca semelhança com a R1, ao utilizar a análise de agrupamentos. Cabral Júnior (2018) identificou que em Alagoas, as precipitações são menores durante a primavera e verão.

Durante a primavera (Figura 13) a média do IPP teve uma grande diferença de distribuição em relação à média anual (Figura 5), em que, apenas a estação do Vergel

formou a R2, e todas as outras 12 estações foram semelhantes nesse período sazonal, formando a R1.

A Figura 13 mostra os agrupamentos conforme foi realizado através da cluster, sendo separados em Figura 13A, que é a R1, e figura 13B que é a R2. Na Figura 13A os eventos de classificados pelo IPP como seca totalizam 20%, em que dentre esse total, a seca leve teve o maior número de eventos, com porcentagem de 15%, e a seca extrema teve apenas 1 evento, o que significa 0,005% de todos os eventos, seguido pela seca moderada (5%), o evento classificado como quase normal totalizou mais da metade dos eventos, com 51%. Por outro lado, os eventos classificados como chuvas, foram todos identificados, sendo a chuva leve (8%) a de maior número de casos, e a chuva moderada (4%).

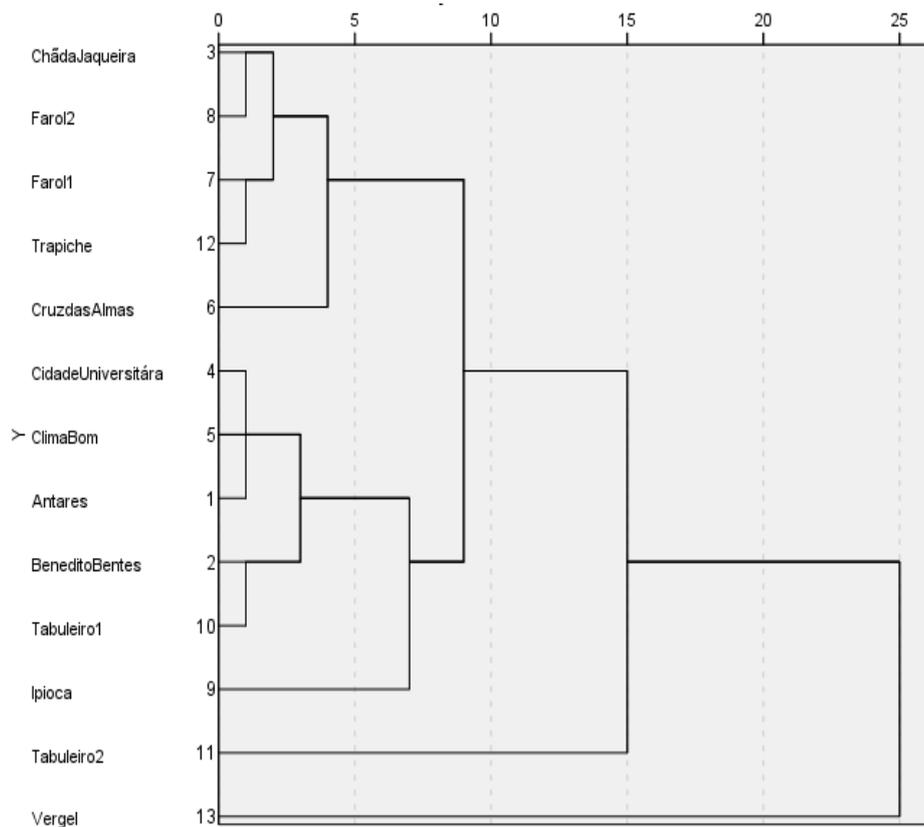


Figura 12. Análise de Agrupamentos do IPP dos Bairros de Maceió, média da primavera (SON).
 Figure 12. IPP Cluster Analysis of Neighborhoods of Maceió, spring mean (SON).

Ao observar a Figura 13B, observou-se que em apenas uma estação, que é a do Vergel, foi identificada seca leve (11%), que foi a de maior ocorrência e a seca severa (6%) a de menor ocorrência. O evento classificado como quase normal pelo IPP resultou em 56% do total de todos os eventos, e os de chuvas desta estação meteorológicas totalizaram 28%, em que o maior evento foi o de chuva leve com 22%, seguido pela chuva extrema (6%).

Ao analisar as duas regiões (R1 e R2) é observado que para o grupo R1, totalizaram-se as chuvas em 28% e as secas em 20%, enquanto que no R2 (Figura 13B) o total das

chuvas foi de 28%, porcentagem igual a R1, já as secas dessa região (R2) totalizam 17% dos eventos, corroborando com Mello & Leite (2017) que também encontraram maiores valores de precipitação para a estação da primavera em alguns bairros.

Macedo *et al.* (2010) também utilizaram o IPP para fazerem análise de agrupamento no Estado da Paraíba, e obtiveram o resultado com valores de precipitação e secas diferentes em cada região, devido à variados sistemas/fenômenos meteorológicos atuantes nos grupos obtidos através dos agrupamentos.

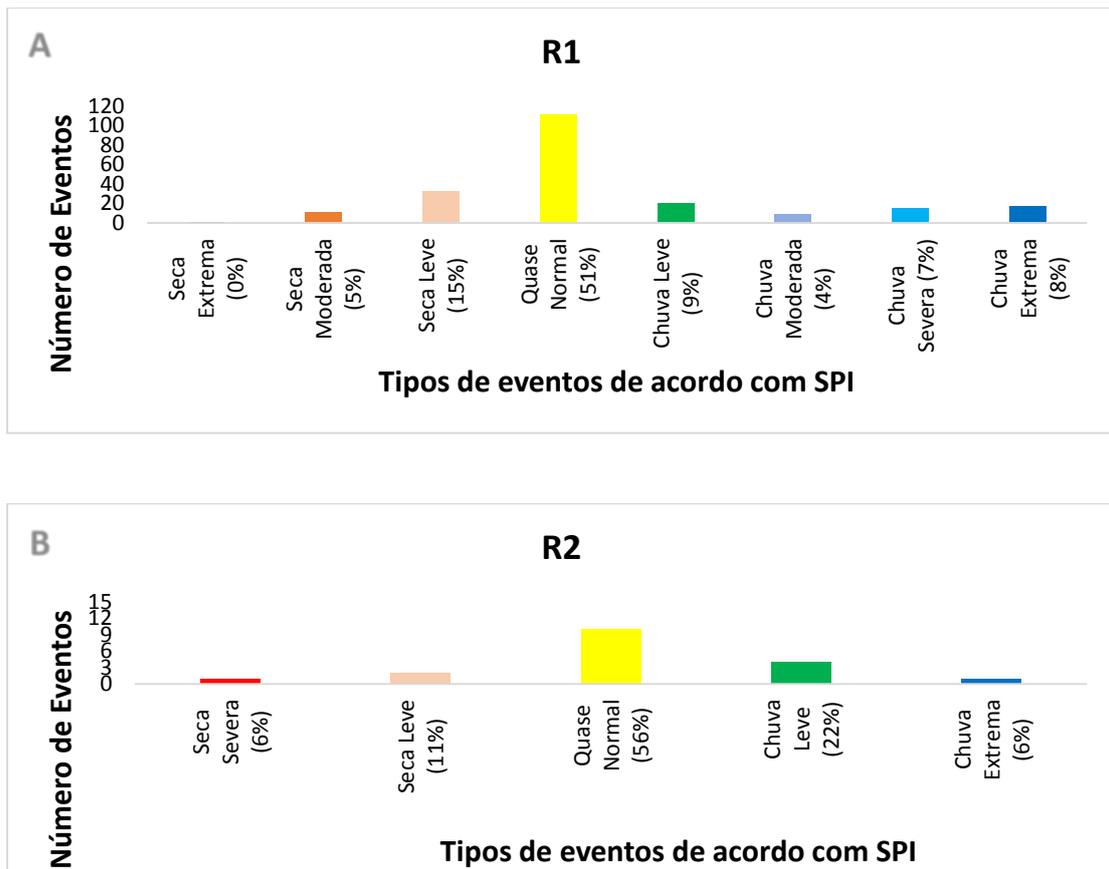


Figura 13. IPP para a primavera (SON): A) Região 1 (R1); B) Região 2 (R2).
 Figure 13. IPP for Spring (SON): A) Region 1 (R1); B) Region 2 (R2).

3.3 BoxPlot

Na Figura 14 nota-se que o *BoxPlot* apresenta valores semelhantes tanto no limite superior quanto na mediana para ambas regiões (R1 e R2), na qual o IPP do valor superior para as duas regiões tem valor máximo de aproximadamente 2,99, já o limite inferior tem IPP próximo a -1,1 para a R1 e -1 para a R2. Observa-se que apesar da R1 e R2 apresentarem bastante semelhança para o período anual, as estações da R1 apresentaram máximos valores negativos em comparação a R2, sendo assim, R1 teria valores mais secos que em R2 quando compararem-se IPP negativos, como também foi encontrado por Bonfim *et al.* (2021).

O *BoxPlot* apontou que Maceió é uma região que está propensa à eventos, tanto de chuva quanto de secas, variação como a encontrada principalmente na R2, levando aos resultados encontrados neste trabalho ao assemelhar-se aos encontrados por Oliveira *et al.* (2019), também para a capital Alagoana.

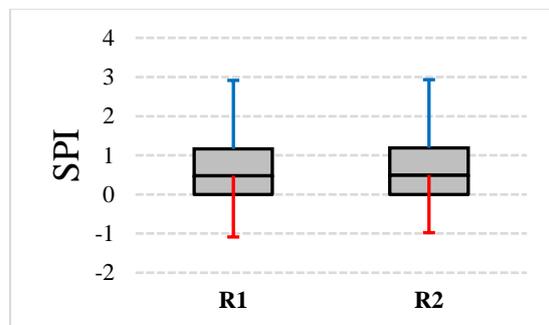


Figura 14. *BoxPlot* anual para a região 1 (R1) e região 2 (R2).
 Figure 14. Annual *BoxPlot* for region 1 (R1) and region 2 (R2).

3.4 Tendência climática por Mann–Kendall para a série anual

Para a região 1 (R1) foram identificadas tendências de diminuição de precipitação (Figura 15), tendo tendência anual de -0,0844 mm e em toda a série de -1,0136 mm, com significância estatística pelo teste de T-

Student ao nível de 95%. Essa diminuição indica que as chuvas na R1 vem diminuindo gradativamente ao longo dos anos, como foi encontrado por Mateus *et al.* (2015) e Lopes &

Da Silva (2016) para a precipitação no Estado do Ceará, e por Lima *et al.* (2011), para o Estado da Bahia.

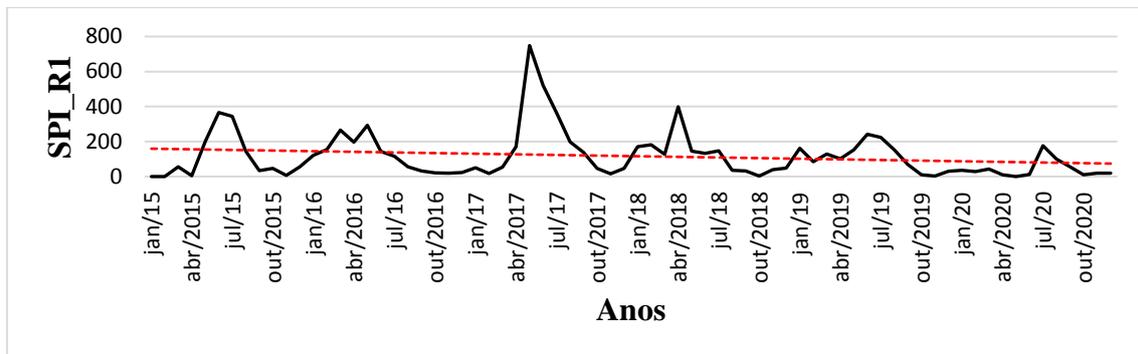


Figura 15. Tendência temporal de IPP para R1 no período de 2015 a 2020.
Figure 15. Time trend of IPP for R1 in the period from 2015 to 2020.

Já para a série de precipitação anual de R2 (Figura 16) há um leve aumento na tendência de precipitação, que anualmente aumentou 0,036542498 mm, e em toda a série 0,438509975 mm, com significância estatística pelo teste de T-Student ao nível de 95%. Este

resultado obtido para tendência positiva, assemelha-se para parte da região Sul do Brasil, conforme obtido por Gonçalves & Back (2018), e para Pernambuco por Ferreira *et al.* (2017).

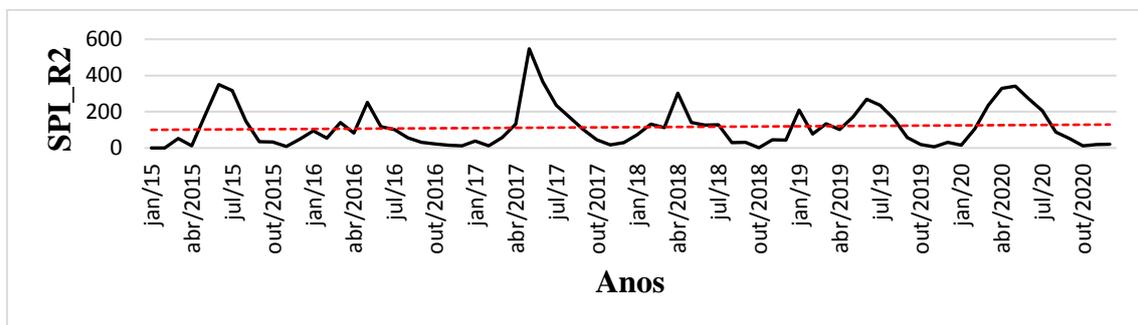


Figura 16. Tendência temporal de IPP para R2 no período de 2015 a 2020.
Figure 16. Time trend of IPP for R2 in the period from 2015 to 2020.

Os resultados obtidos para Maceió foram semelhantes com o obtido no trabalho de Couto *et al.* (2019) para o Estado da Bahia, que dentre as 18 estações pluviométricas estudadas, 11 delas apresentaram diminuição de precipitação, enquanto apenas sete tiveram aumento.

As tendências serem distintas entre R1 e R2 reforça os resultados encontrados pela análise de agrupamentos que mostrou que as 13 estações se agrupam em dois grupos, sendo as estações de cada grupo semelhantes entre si e distintas entre os grupos, dessa

forma, R1 e R2 foram realmente distintos entre os grupos.

3.5 Identificação das causas climáticas

Através da AO foram identificadas escalas temporais que ocorriam nas séries de R1 e R2, 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 2015 até 2020 e as figuras 17 e 18 estão

divididas em: (A) que é o gráfico de IPP da precipitação média e (B) que é o espectro de potência de ondaleta, em que é possível identificar os fenômenos ocorridos ao longo da série temporal.

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).

De acordo com a Figura 17A, os eventos de maiores valores pluviométricos ocorreram em maio e setembro de 2017, e em fevereiro, abril e novembro de 2018, e os eventos de secas tiveram maior índice em: janeiro de 2015, agosto de 2018, novembro de 2019 e em junho de 2020.

Durante esses anos, alguns eventos marcaram o aumento/diminuição da precipitação, 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. O ENOS e o ENOS estendido apresentaram escala dominante na ondaleta, enquanto que as Manchas Solares/Dipolo do Atlântico têm escala secundária, apesar de que essa escalas não têm significância estatística por estarem fora do cone de influência.

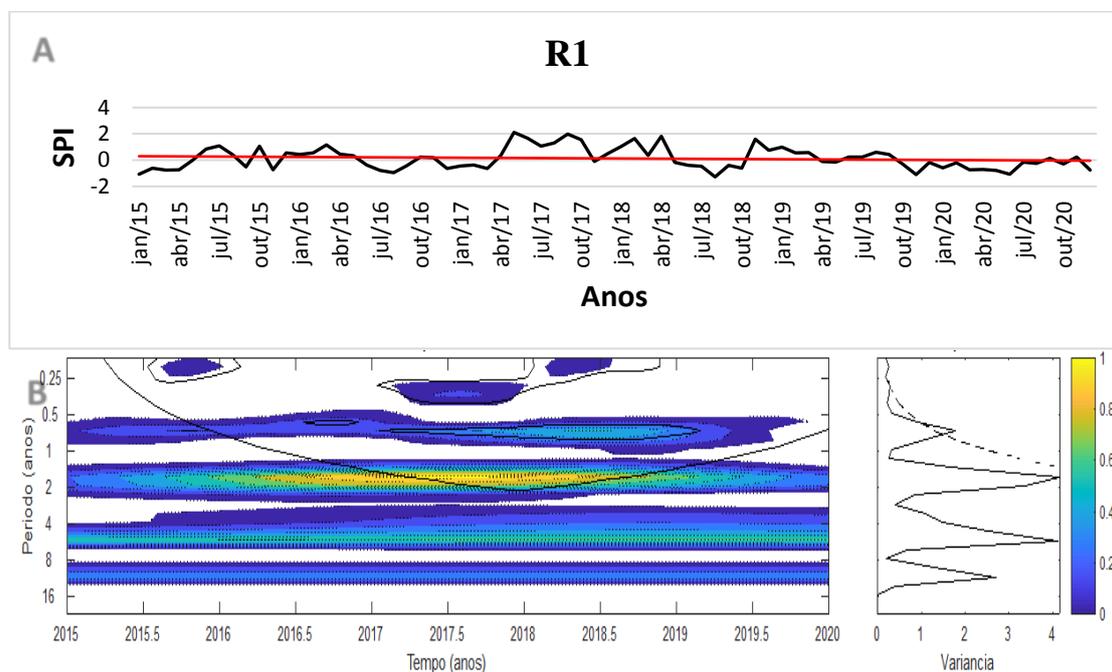


Figura 17. Região 1 (R1): A) Dados de precipitação; B) Espectro de potência de ondaleta (EPO). Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e Espectro de Potência Global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

Figure 17. Region 1 (R1): A) Precipitation data; B) Wavelet power spectrum (WPS). Yellowish contours correspond to significant normalized variances at the 5% level. The U-shaped curve represents the cone of influence, under which the edge effect is important, and the Global Power Spectrum (GPS), with the dashed outline indicating that the GPS is significant at the 95% confidence level.

Os maiores valores pluviométricos (Figura 18A) que ocorreram na R2 foram em maio e setembro de 2017, novembro de 2018 e em janeiro de 2019, enquanto as secas deram-se em julho e dezembro de 2016 e em agosto de 2018.

Conforme a AO (Figura 18B) as escalas que causaram esses eventos foram: sazonal (0,25 anos), semestral (0,5 anos), interanual (1 ano), ENOS (entre 1 e 2 anos) (Nery *et al.*, 1997), Manchas Solares (11 anos) (Da Silva, 2017) e Dipolo do Atlântico (7-8 a 11 anos). Dentre todas as escalas citadas, a dominante

foi a do ENOS, que entre 2015 e 2016 ocorreu eventos de El Niño forte, e em 2017 e 2018 de La Niña moderada (CPTEC/INPE, 2020). Os eventos de ENOS contribuíram para anos mais secos, como é o caso dos anos de 2015 e 2016 conforme é citado por CLIMATEMPO (2016), os períodos com maiores valores pluviométricos devido a La Niña, mencionado por Lin & Hendon (2017), e em 2019 devido aos resquícios do forte El Niño ocorreu seca fraca, e enquanto que a escala secundária ocorrida foi a semestral.

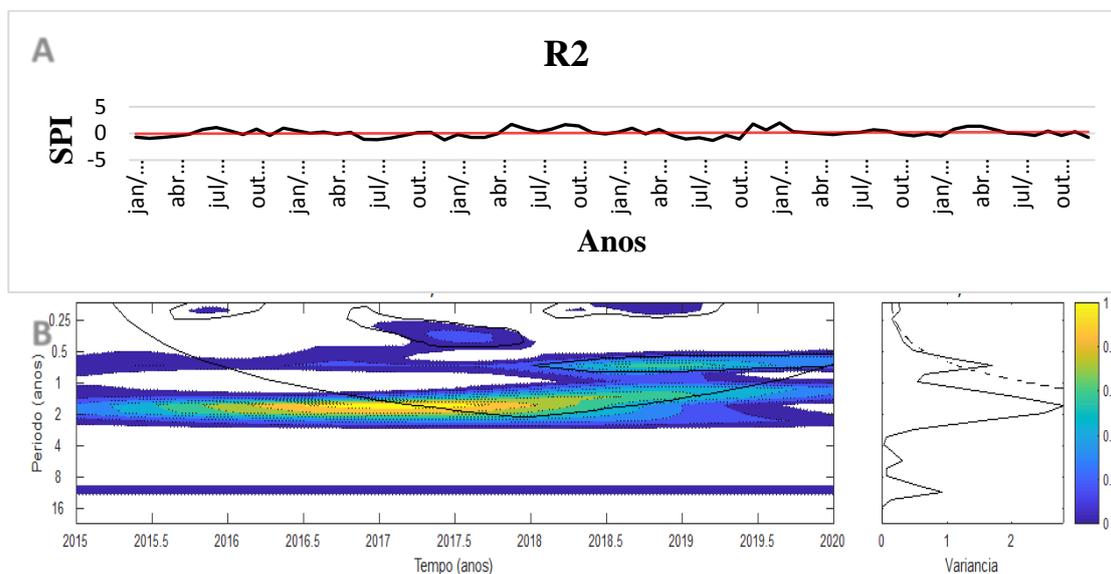


Figura 18. Região 2 (R2): A) Dados de precipitação; B) Espectro de potência de ondaleta (EPO). Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e Espectro de Potência Global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

Figure 18. Region 2 (R2): A) Precipitation data; B) Wavelet power spectrum (WPS). Yellowish contours correspond to significant normalized variances at the 5% level. The U-shaped curve represents the cone of influence, under which the edge effect is important, and the Global Power Spectrum (GPS), with the dashed outline indicating that the GPS is significant at the 95% confidence level.

Os resultados obtidos através da AO indicaram que a influência das escalas de variabilidade, como o ENOS, ENOS estendido, o Dipolo do Atlântico e Manchas Solares acarretam nos eventos de chuva/seca em Maceió, corroborando com Da Silva *et al.* (2017) para a região do LNEB, e Da Silva *et al.* (2010) em um estudo para a Bacia do Rio Mundaú, que identificou que a junção da variabilidade interanual ligada ao ENOS, a variabilidade decenal, e a variabilidade interanual curta influenciaram na precipitação local.

3.6 Ondaleta cruzada ou de Coerência e Fase

Na série de IOS (Índice Oscilação Sul) e IPP (1952-2020) (Figura 19) apresentou coerência entre 5 a 8 anos, com setas para a direita, indicando fase, em que as duas séries (IOS e IPP) coincidem, ocorrendo de 1952 a 1962. Também se nota coerência entre 3 a 5 anos, em que o mínimo de IPP ocorre 9 meses (ou 0,75 anos) após o máximo de IOS, que é mostrado pela seta indicando 90°, no período de 1980 a 1990. No WTC (sigla em inglês para

Análise de Ondaleta Cruzada) 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 & Kayano (2011) e Pereira (2017) mostram que o IOS e o IPP apresentam boa coerência, assim como os resultados encontrados para as mesmas variáveis desta pesquisa.

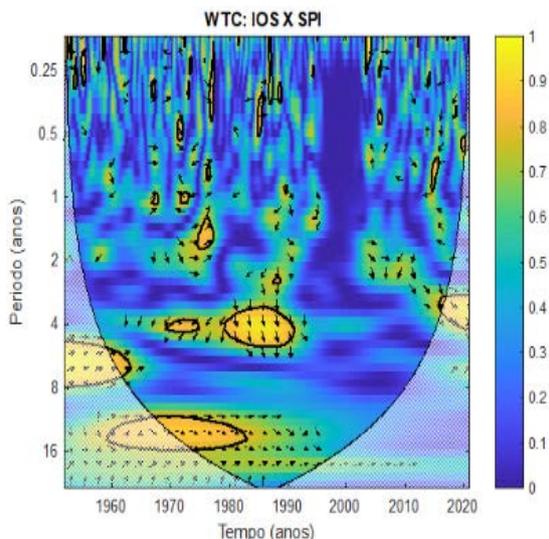


Figura 19. WTC entre o IOS e IPP para o período de 1952-2020. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.

Figure 19. WTC between SOI and IPP for the period 1952-2020. Continuous contours encompass significant variances at the 95% confidence level; the U-curve is the cone of influence.

Conforme Corrêa *et al.* (2019) em estudo realizado para o Norte/Nordeste do Brasil, as variáveis IOS, ODP e Manchas Solares apresentaram variados intervalos temporais para cada local das duas regiões, com escalas de tempo de ordem de cerca de 10,66 e 21,33 anos, o que caracterizou a existência de baixa frequência multidecadal nas séries totais mensais de precipitação para Norte e Nordeste.

5 Conclusões

Contudo, através da análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação em Maceió-AL e suas causas climáticas, foi possível identificar que a capital Alagoana apresenta precipitação com classificação normal, conforme o IPP para todos os bairros,

sendo, a parte baixa e todo o litoral com mais precipitação, ocorrendo devido aos sistemas e fenômenos meteorológicos que chegam primeiro à costa, e, em seguida adentra o continente, ocasionando assim, menos chuva em alguns bairros mais afastados da região costeira, podendo ser dividida em duas regiões, conforme a semelhança pluviométrica delas, sendo a R2 a menos chuvosa.

Após a Análise de Agrupamentos, através do *BoxPlot*, também foi possível identificar que todas as estações apresentam valores pluviométricos semelhante, em que, para eventos mais chuvosos, tanto a R1 quanto a R2 têm valores iguais, porém, a R2 apresenta mais eventos menos chuvosos.

Os eventos e sistemas meteorológicos identificados através da análise das ondaletas, mostram a grande influência em Maceió, causando chuvas ou secas em cada região (R1 e R2), principalmente as escalas dominantes, como o ENOS e ENOS estendido na R1. Na R2 o ENOS em 2015 e 2016 com um El Niño forte, e em 2017 e 2018 com a La Niña moderada, foram dominantes, contribuindo para chuvas e/ou secas no local.

Com período de dados maior (1952 a 2020) a ondaleta cruzada indica que o mínimo de IPP ocorre nove meses após o máximo de IOS, podendo assim, os gestores locais, prever secas após a ocorrência do máximo de IOS e que os eventos extremos de Maceió apresentam relação significativa com ENOS.

Conclui-se que através destas estatísticas utilizadas nesta pesquisa, é possível fazer uma previsão dos eventos extremos que podem ocorrer em Maceió, assim, evitando desastres na cidade, principalmente nas regiões mais vulneráveis aos eventos de chuvas, que é um dos principais motivos para os deslizamentos de barreiras.

Referências

Andrade, K.M. 2005. *Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul*. Dissertação de Mestrado (Meteorologia)-INPE, São José dos Campos.

- Andreoli, R.V., Kayano, M.T., Guedes, R.L., Oyama, M.D. & Alves, M.A.S.U. 2004. A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 19(3): 337-344.
- Araújo, C.R.G., Silva, C.M.S. & Silva, A.G. 2018. Avaliação das Parametrizações Cumulus Emanuel e Grell do Modelo Climático Regional RegCM4: Simulando a Precipitação e Temperatura a Superfície sobre o Nordeste Brasileiro durante o Outono Austral. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 42(1): 231-240.
- Barbosa, A.C.B. & Blitzkow, D. 2008. *Ondaletas: Histórico e Aplicação*. São Paulo. 39p.
- Barcellos, K. & Abud, A.K.S. 2015. Avaliação do potencial energético das cascas de coco verde para aproveitamento na produção de briquetes. *Scientia Plena*, 11(3): 2230.
- Blain, G.C. & Kayano, M.T. 2011. 118 anos de dados mensais do índice padronizado de precipitação: Série meteorológica de Campinas, Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26(1): 137-148.
- Bonfim, O.E.T. 2018. *Aplicação de análises estatísticas na pluviometria das Bacias Hidrográficas Aguapeí-Peixe (SP)*. Dissertação de Mestrado (Meteorologia)-Universidade Federal de Alagoas, Maceió.
- Bonfim, O.E.T., Da Silva, D.F., Kayano, M.T. & Rocha, L.H.S. 2021. Análise dos Eventos Climáticos Extremos e de Suas Causas Climáticas para Redução de Riscos nas Bacias Hidrográficas Aguapeí e Peixe, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 35: 755-768.
- Cardoso, B.C.T. 2018. *Avaliação das Parametrizações Cumulus Emanuel e Grell do Modelo Climático Regional RegCM4: Simulando a Precipitação e Temperatura a Superfície sobre o Nordeste Brasileiro durante o Outono Austral*. Dissertação de Mestrado (Meteorologia)-Universidade Federal de Alagoas, Maceió.
- Carmo, M.V.N.S. & Lima, C.H.R. 2020. Caracterização Espaço-Temporal das Secas no Nordeste a partir da Análise do índice IPP. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 35(2): 233-242.
- Carvalho, M.A.V. & Oyama, M.D. 2013. Variabilidade da largura e intensidade da Zona de Convergência Intertropical atlântica: aspectos observacionais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28(3): 305-316.
- Castro, C.A.C. 2002. *Interações Trópicos-Extratropicais na escala de tempo intra-sazonal durante o verão austral e seus efeitos na América do Sul*. Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo.
- Cavalcante, I.B.S., Mendonça, H.S., Lima, M.J.S., Da Silva, D.F. & Bonfim, O.E.T. 2020. Período de concentração de precipitação (PCP) e grau de concentração de precipitação (PCD) para Leste do Nordeste do Brasil e suas alterações em anos de ENOS. *Revista REDE (PRODEMA)*, 14(1): 7-22.
- CEMADEN. 2019. *Situação da Seca no Semiárido e Impactos* – Julho de 2019. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/situacao-da-seca-no-semiarido-e-impactos-julho-de-2019/>>. Acesso em: 19 maio 2021.
- CLIMATEMPO. 2016. *O legado do El Niño 2015*. Disponível em: <<https://www.climatepo.com.br/noticia/2016/09/22/o-legado-do-el-nino-2015-0199>>. Acesso em: 03 maio 2021.
- Corrêa, C.S., Guedes, R.L., Bueno Corrêa, K.A. & Pilau, F.G. 2019. Multidecadal Cycles Study in the Climate Index Series Using Wavelet Analysis in North/Northeast Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 42(1): 66-73.
- Couto, C.M.D., Oliveira, E.P., Badaró, T.S. & Silva, N.D. 2019. *Análise de tendências em dados de precipitação na região Oeste da Bahia*. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 17 a 19 de setembro, Palmas.
- CPTEC. 2018. *Outono termina com chuvas abaixo da média na maior parte do Brasil*. Disponível em: <<http://infoclima.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 19 maio 2021.
- CPTEC-INPE. 2020. *Monitoramento do El Niño durante NDJ-2019/2020*. Disponível em:

- <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 03 mai. 2021.
- Da Silva, D.F. 2009. *Análise de aspectos climatológicos, agroeconômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a Bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE)*. Tese de Doutorado (Recursos Naturais) - UFCG, Campina Grande-PB.
- Da Silva, D.F. 2017. Aplicação de Análises de Ondas para Detecção de Ciclos e Extremos Pluviométricos no Leste do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32(2): 187-198.
- Da Silva, D.F., Kayano, M.T. & Sousa, F.A.S. 2010. Uso de ferramentas estatísticas para acompanhamento climático e prevenção de riscos na Bacia Hidrográfica do rio Mundaú (Brasil). *Revista Territorium*, 17: 17-26.
- Da Silva, D.F., Lima, M.J.S., Souza Neto, P.F., Gomes, H.B., Silva, F.D.S., Almeida, H.R.R.C., Costa, R.L. & Pereira, M.P.S. 2020. 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*, 13(2): 449-464.
- Farias, M.C. 2018. *Chuva provoca alagamentos em vários pontos em Maceió*. Disponível em: <<https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/chuva-provoca-alagamentos-em-varios-pontos-em-maceio.ghtml>>. Acesso em: 03 mai. 2021.
- Farias, M.C. 2021. *Chuvas provocam alagamentos, queda de árvore e de barreiras em bairros de Maceió*. Disponível em: <<https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2021/04/15/chuvas-provocam-alagamentos-queda-de-arvore-e-de-barreiras-em-bairros-de-maceio.ghtml>>. Acesso em: 03 mai. 2021.
- Fechine, J.A.L. 2015. Identificação de secas meteorológicas na região metropolitana de Fortaleza, usando o índice de precipitação padronizada (IPP). *Boletim de Geografia*, 33(2): 18-33.
- Ferreira, P.S., Gomes, V.P., Galvêncio, J.D., Santos, A.M., Souza, W.M. 2017. Avaliação da tendência espaço-temporal da precipitação pluviométrica em uma região Semiárida do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Climatologia*, 21: 113-134.
- Ferreira, R.R. 2017. *Aspectos termodinâmicos de um vórtice ciclônico de altos níveis sobre o Nordeste do Brasil*. Dissertação de Mestrado (Meteorologia)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- Ferreira, R.R. & Souza, E.P. 2019. Aspectos Termodinâmicos de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis sobre a Região Nordeste do Brasil: um Estudo de Caso. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 42(3): 504-513.
- Fetter, R., Oliveira, C.H. & Steinke, E.T. 2018. Um Índice para Avaliação da Variabilidade Espaço-Temporal das Chuvas no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33(2): 225-237.
- Figueroa, S.N. 1997. *Estudo dos sistemas de circulação de verão sobre a América do Sul e suas simulações com modelos numéricos*. Tese de Doutorado (Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- Freitas, J.C., Andrade, A.R.S., Braga, C.C., Godoi Neto, A.H. & Almeida, T.F. 2013. Análise de Agrupamentos na Identificação de Regiões Homogêneas de Índices Climáticos no Estado da Paraíba, PB – Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6(4): 36.
- G1. 2013. *Chuvas causam transtornos e prejudicam trânsito em Maceió*. Disponível em: <<http://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2013/07/chuvas-causam-transtornos-e-prejudicam-transito-em-maceio.html>>. Acesso em: 03 mai. 2021.
- Gonçalves, F.N. & Back, A.J. 2018. Análise da variação espacial e sazonal e de tendências na precipitação da região sul do Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, 41(3): 592-602.
- Guedes, R.S., Lopes, F.J., Amanajás, J.C. & Braga, C.C. 2010. Análise em componentes principais da precipitação pluvial no Estado do Piauí e agrupamento pelo método de Ward. *Revista de Geografia*, 27(1): 218-233.

- Hastenrath, S. & Heller, L. 1977. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 103(435): 77-92.
- Hastenrath, S. & Kaczmarczyk, E.B. 1981. On spectra and coherence of tropical climate anomalies. *Tellus*, 33(5): 453-462.
- IBGE. 2020. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al/maceio.html>>. Acesso em: 05 de novembro de 2020.
- Japiassú, L.A. T. 2015. *Expansão urbana de Maceió, Alagoas: caracterização do processo de crescimento territorial urbano em face do plano de desenvolvimento - de 1980 a 2000*. Dissertação de Mestrado (Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Alagoas, Maceió.
- Kayano, M.T. & Kousky, V.E. 1996. Tropical circulation variability with emphasis on interannual and intraseasonal time scales. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 11(1/2): 6-17.
- Kendall, M.G. 1975. *Rank Correlation Methods*. Charles Griffin: London, 4ed.
- Kerr, R.A. 1996. A now dawn for sun-climate links? *Science*, 271(5254): 1360-1361.
- Köppen, W., 1900: Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. *Geogr. Z.*, 6: 657-679.
- Leal Neto, J.G.S., Ayastuy, A.C., Suruagy, D.C.B. & Ferreira, B. 2019. *Eventos meteorológicos extremos e suas repercussões na cidade de Maceió, Estado de Alagoas*. XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada, Fortaleza.
- Lima, J.R.A., Neves, D.J.D., Araújo, L.E. & Azevedo, P.V. 2011. Identificação de tendências climáticas no Estado da Bahia. *Revista de Geografia (UFPE)*, 28(3): 172-187.
- Lima, M.J.S., Cavalcante, I.B.S., Mendonça, H.S., Souza Neto, P.F., Silva, S.D., Amorim, D.O.C. & Da Silva, D.F. 2018. Classificação, quantificação e ocorrência de eventos climáticos extremos nas três mesorregiões do estado de Alagoas, Brasil. *Revista Ciência e Sustentabilidade*, 4(2): 151-172.
- Lin, E.P. & Hendon, H.H. 2017. Causes and Predictability of the Negative Indian Ocean Dipole and Its Impact on La Niña During 2016. *Scientific Reports*, 7: 12619.
- Lopes, J.R.F. & Da Silva, D.F. 2013. Aplicação do teste de Mann-Kendall para análise de tendência pluviométrica no Estado do Ceará. *Revista de Geografia (UFPE)*, 30(3): 192-208.
- Lopes, J.R.F. & Da Silva, D.F. 2016. Tendências e distribuição espacial de variáveis climáticas no estado do Ceará. *Ambiência*, 12(1): 127-145.
- Lyra, M.J.A., Cavalcante, L.C.V., Levit, V. & Fedorova, N. 2019. Ligação Entre Extremidade Frontal e Zona de Convergência Intertropical Sobre a Região Nordeste do Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 42(1): 413-424.
- Lyra, M.J.A., Freitas, I.G.F. & Santiago, D.B. 2020. Evento de Precipitação Intensa Associado às Perturbações Ondulatórias dos Alísios Sobre o Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(7): 3195-3205.
- Macedo, M.J.H., Guedes, R.V.S., Sousa, F.A.S. & Dantas, F.R.C. 2010. Análise do índice padronizado de precipitação para o estado da Paraíba, Brasil. *Ambi-Agua*, 5(1): 204-214.
- Markhann, C.G. 1974. Apparent periodicities in rainfall at Fortaleza, Ceará, Brazil. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 13(1): 176-179.
- Mateus, A.E., Costa, I.M., Da Silva, D.F., Lopes, J.R.F. 2015. Perspectivas em Variáveis Meteorológicas para o Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8(5): 1383-1392.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. & Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to times scale. In: 8th Conference on Applied Climatology. Boston. *Anais... American Meteorological Society*, p. 179-184.
- Mello, Y.R. & Leite, M.B. 2017. *Caracterização da precipitação mensal, sazonal e anual para o Estado do Paraná em períodos secos, normais e chuvosos (1977-2006)*. In: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. p. 2127-2137.

- Melo, V.S., Silva do Ó, K.D., Dantas, M.P. & Medeiros, R.M. 2017. Estudo da precipitação do Semiárido Baiano usando análises de agrupamento e distribuição de probabilidade. *Revista Brasileira de Agrotecnologia*, 7(3): 11-19.
- Menezes, F.P., Fernandes, L.L. & Rocha, E.J.P. 2015. O uso da estatística para regionalização da precipitação no Estado do Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 16: 64-71.
- Molion, L.C.B. 2005. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico. *Revista Climanalise*, 3(1): 1-5.
- Moura, G.B.A., Aragão, J.O.R., Lacerda, F.F. & Passavante, J.Z.O. 2000. Relação entre a precipitação no setor Leste do Nordeste do Brasil e a temperatura da superfície nos Oceanos Atlântico e Pacífico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(2): 247-251.
- Nascimento, F.C.A., Braga, C.C. & Araújo, F.R.C.D. 2017. Análise Estatística dos Eventos Secos e Chuvosos de Precipitação do Estado do Maranhão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32(3): 375-386.
- Nery, J.T., Vargas, W.M. & Martins, M.D.O.F. 1997. Variabilidade interanual da precipitação do Paraná. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 5(1): 1-7.
- Oliveira, G.B., Rodrigues, D.T., Silva, P.E., Lúcio, P.S. & Medeiros, B.C. 2019. *Análise de séries temporais no prognóstico da precipitação mensal para as capitais do Nordeste Brasileiro*. I Workshop de Meteorologia e Recursos Naturais, Campina Grande,
- Oliveira, M.J., Carneiro, C.D.R., Vecchia, F.A.S. & Baptista, G.M.M. 2017. Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. *Terrae Didática*, 13(3):149-184.
- Pereira, T.A.S. 2017. *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)*. Tese de Doutorado (Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife,
- PERFIL MUNICIPAL. 2018. Disponível em em: <<https://dados.al.gov.br/catalogo/datase/t/c70c5d37-9cef-4bf7-b55f-456aded041eb/resource/d6deb2f8-2505-4f24-8d79-f74adcf8ed50/download/perfilmeio2018.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*. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. 28 de junho à 02 de julho, Campinas, 2017.
- Reboita, M.S., Gan, M.A., Rocha, R.P. & Ambrizzi, T. 2010. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(2): 185-204.
- Reis, J.S. 2018. *Características dinâmicas e termodinâmicas dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis do Nordeste do Brasil*. Dissertação de Mestrado (Ciências Climáticas), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal,
- Rocha, R.V., Souza Filho, F.A. & Silva, S.M. O. 2019. 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*, 34(1): 139-149.
- Rodrigues, I.B., Holanda, J.M., Gonçalves, D.S. & Sales, M.C.L. 2017. Análise dos eventos de chuva extrema e seus impactos em Fortaleza-CE, de 2004 a janeiro de 2015. *Revista de Geografia (Recife)*, 34(2): 127-144.
- Santos, S.R.T., Sansigolo, C.A., Neves, T. & Campos, T. 2017. Frequências dos eventos extremos de seca e chuva na Amazônia utilizando diferentes bancos de dados de precipitação. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(2): 468-478.
- Sena, J.P.O., Moraes Neto, J.M. & Lucena, D.B. 2017. Painel têmporo-espacial e box-plot para a análise da pluviosidade na região do Cariri Paraibano. *Revista Brasileira de Agrotecnologia*, 7(3): 111-122.

- Servain, J. 1991. Simple climatic indices for the tropical Atlantic Ocean and some applications. *Journal of Geophysical Research*, 96(C8): 15137-15146.
- Servain, J., Wainer, I., McCreary, J.P. & Dessier, A. 1999. Relationship between the equatorial and meridional modes of climatic variability in the Tropical Atlantic. *Geophysical Research Letters*, 26(4): 485-488.
- Silva, E.A. & Mandú, T.B. 2020. *Aplicação do índice de precipitação Padronizado (IPP) para identificação de Períodos de seca em Brasília-DF*. IX Simpósio da Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre. São José dos Campos.
- Silva, N.R. 2018. *Precipitações intensas e seus impactos no ambiente urbano de Uberlândia - MG*. Dissertação de Mestrado (Geografia)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Silva, R.A., Da Silva, V.P.R., Cavalcanti, E.P. & Dos Santos, D.N. 2010. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(5): 501-509.
- Souza Neto, P.F. 2019. *Identificação de impactos da variabilidade climática sobre os Oceanos*. Trabalho de Conclusão de Curso (Meteorologia)-Universidade Federal de Alagoas.
- Souza, W.M., Azevedo, P.V., De Assis, J.M.O. & Sobral, M.C. 2014. Áreas de risco mais vulneráveis aos desastres decorrentes das chuvas em Recife-PE. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 34: 79-94.
- Vale, R.S., Santana, R.A. & Dias-Júnior, C.Q. 2020. Análise de dados climáticos usando transformada em ondeletas cruzada e coerência. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(2): 641-647.
- Wagner, M.B. 1998. Significância com confiança? *Jornal de Pediatria*, 74: 343-346.
- Weickmann, K.M., Lussky, G.R. & Kutzbach, J.E. 1985. Intraseasonal (30-60 Day) Fluctuations of Outgoing Longwave Radiation and 250 mb Streamfunction during Northern Winter. *Monthly Weather Review*, 113(6): 941-961.