Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
ISSN 2237-8642

VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA EM ALAGOAS E SUA COERÊNCIA COM A VARIABILIDADE CLIMÁTICA DOS OCEANOS

Rainfall variability in Alagoas and its consistency with climate variability of the oceans

Variabilidad de las lluvias en Alagoas y su coherencia con la variabilidad climática de los oceanos

Lucas Henrique dos Santos Rocha
Programa de Pós-graduação em Meteorologia Instituto de Ciências atmosféricas (ICAT), Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
lucas.santos@icat.ufal.br

Djane Fonseca da Silva
Programa de Pós-graduação em Meteorologia Instituto de Ciências atmosféricas (ICAT), Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
djanef.dasilva@icat.ufal.br

Pedro Fernandes de Souza Neto
Unidade Acadêmica de Ciências atmosféricas (UACA/CTRN), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
piurosfernandes@hotmail.com

Resumo: A crescente urgência diante do aumento de ocorrência e intensidade dos Eventos Extremos à vulnerabilidade da população em áreas de risco, demanda avanços na gestão preventiva e, principalmente, participativa, e isso pode ser também obtido através de análises meteorológicas usando climatologia e ferramentas estatísticas. O objetivo dessa pesquisa foi verificar coerência e fase entre as séries de precipitação de áreas homogêneas de Alagoas com séries de índices climáticos oceânicos. Os dados pluviométricos que foram usados na pesquisa são provenientes da base de dados de séries históricas da Agência Nacional das Águas – ANA. Também foram obtidos os dados da National Oceanic and Atmospheric Administration, dos índices climáticos do Índice de Oscilação Sul (IOS) e Dipolo do Atlântico, para a análise de coerência e fase entre as séries. Na análise de agrupamentos detectou-se dois grupos homogêneos em relação à precipitação do estado, e com esses grupos, nas análises de Ondaletas cruzadas e coerências, os grupos 1 e 2 apresentaram coerência com o IOS e Dipolo do Atlântico. Os máximos de precipitação para os Grupos 1 e 2 ocorreram após máximos de IOS

e Dipolo, mas a resposta da influência do Dipolo do Atlântico sobre a precipitação do Grupo 2 ocorreu com menor tempo.
Palavras-chave: Ondaleta Cruzada. Análise de Agrupamentos. IOS. Dipolo do Atlântico.

Abstract: The growing urgency in the face of the increase in the occurrence and intensity of Extreme Events and the vulnerability of the population in risk areas demands advances in preventive and, mainly, participatory management, and this can also be achieved through meteorological analyzes using climatology and statistical tools. Therefore, the objective of this research is to verify coherence and phase between precipitation series from homogeneous areas of Alagoas with series of oceanic climate indices. The rainfall data used in the research comes from the historical series database of the National Water Agency – ANA. Data from the National Oceanic and Atmospheric Administration were also obtained, from the Southern Oscillation Index (SOI) and Atlantic Dipole climate indices, for the analysis of coherence and phase between the series. In the cluster analysis, two homogeneous groups were detected in relation to the state's precipitation, and with these groups, in the cross wavelet and coherence analyses, groups 1 and 2 showed coherence with the SOI and Atlantic Dipole. The precipitation maxima for Groups 1 and 2 occurred after IOS and Dipole maxima, but the response of the influence of the Atlantic Dipole on Group 2 precipitation occurred with less time.
Keywords: Wavalet Cross. Cluster Analysis. SOI. Atlantic Dipole.

Resumen: La creciente urgencia ante el aumento de la ocurrencia e intensidad de Eventos Extremos y la vulnerabilidad de la población en zonas de riesgo exige avances en la gestión preventiva y, principalmente, participativa, y esto también se puede lograr a través de análisis meteorológicos utilizando la climatología y las estadísticas. herramientas. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es verificar la coherencia y la fase entre series de precipitación de áreas homogéneas de Alagoas con series de índices climáticos oceánicos. Los datos de precipitaciones utilizados en la investigación provienen de la base de datos de series históricas de la Agencia Nacional del Agua – ANA. También se obtuvieron datos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, de los índices climáticos Southern Oscillation Index (IOS) y Atlantic Dipolo, para el análisis de coherencia y fase entre las series. En el análisis de conglomerados se detectaron dos grupos homogéneos en relación a la precipitación del estado, y con estos grupos, en los análisis de ondas cruzadas y de coherencia, los grupos 1 y 2 mostraron coherencia con el IOS y el Dipolo Atlántico. Los máximos de precipitación para los Grupos 1 y 2 ocurrieron después de los máximos de IOS y Dipolo, pero la respuesta de la influencia del Dipolo Atlántico sobre la precipitación del Grupo 2 ocurrió con menos tiempo.
Palabras clave: Ondícula cruzada. Análisis de conglomerados. IOS. Dipolo do Atlántico.

Submetido em: 24/04/2024
Aceito para publicação em: 07/01/2025
Publicado em: 10/01/2025

1. INTRODUÇÃO

A variabilidade climática e suas escalas de tempo estão diretamente relacionadas à ocorrência de eventos extremos meteorológicos em diferentes regiões, conforme destacado por Rocha *et al.* (2019). Estudos que analisam essas relações (Da Silva *et al.*, 2022, 2023; Carpenedo *et al.*, 2024; Oliveira, 2023) são de extrema importância para compreender padrões de precipitação e fazer previsões para cenários futuros. No caso da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, que tem sua foz ao sul do Estado de Alagoas, foi identificada uma relação entre os índices da Oscilação Decenal do Pacífico (ODP) e da Oscilação Multidecenal do Atlântico (OMA) e o comportamento das precipitações locais. Foi visto que durante fases simultaneamente positivas ou negativas desses índices, ocorria uma maior previsibilidade nas precipitações, com valores abaixo ou acima do esperado, respectivamente.

O aumento das temperaturas globais na Terra revela a importância de estudos dessa natureza. De acordo com o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2021), a temperatura global pode subir entre 1,4°C e 5,8°C nos próximos 100 anos (referência de 1990), ou entre 1,2°C e 6,4°C até o final do século XXI (média de 1961-1990). As mudanças climáticas impactam diretamente as atividades humanas, especialmente em regiões de infraestrutura vulneráveis como o Brasil. Relatórios da Organização das Nações Unidas (ONU, 2020) destacam o Brasil entre os países mais expostos a inundações, o tipo de desastre natural mais comum no país desde o ano de 2000.

Além disso, eventos extremos de precipitação e seca estão associados à ocorrência de desastres naturais (Marengo, 2009; Souza *et al*., 2014) e agravados devido ao aumento da população nos grandes centros urbanos. Ademais, a frequência e intensidade desses desastres estão relacionadas às mudanças no clima e suas variações (IPCC, 2021).

Estudos que analisam o comportamento das precipitações locais são indispensáveis para o planejamento econômico, social e ambiental, já que suas alterações podem impactar profundamente a organização e o uso do espaço pelas populações de uma região (Guedes *et al.*, 2019; Lira *et al.*, 2020; Alves *et al.*, 2022). Sabe-se ainda que as condições oceânicas interagem com a atmosfera e influenciam na precipitação local. Kayano e Capistrano (2013) expõem que o Dipolo do Atlântico - padrão de anomalias na temperatura superficial do mar sobre o oceano Atlântico tropical - está associado a mudanças nos valores de precipitação sobre a região Nordeste e Norte do Brasil.

A Ondaleta Cruzada (OC) é um tipo de estatística, com a qual é possível compreender a relação entre duas séries temporais, através da Análise de Coerência de Ondaletas. Estudos utilizaram essa estatística para um melhor entendimento das dos eventos extremos e padrões climáticos por meio de suas teleconexões (Chang *et al*., 2017; Kuss e Gurdak, 2014; Novello *et al.*, 2012; Tang *et al.*, 2014; Vásquez *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2017; Vale *et al.*, 2020).

Rocha *et al.* (2019) também utilizando a OC, encontraram que a existência de "bandas" fora de fase identificadas entre o Índice de Precipitação Padronizado (SPI) e o índice da OMA, indicando um "atraso" ou *lag* na relação das séries desses índices, o que também pode explicar as relações das variáveis fora de fase.

Neste mesmo estudo, Rocha *et al.* (2019) também utilizaram a Análise de Componentes Principais (ACP) e determinaram semelhanças para classificação de grupos homogêneos. Anteriormente, e do mesmo modo, Kumar e Duffy (2009) puderam detectar regiões homogêneas dentro da Bacia do Rio Colorado, e essa técnica foi utilizada nesta pesquisa para apontar regiões pluviometricamente homogêneas dentro do estado de Alagoas, seguindo também a metodologia usada por Braga *et al*. (2003), Kumar e Duffy (2009) e Coutinho *et al.* (2010).

Como a análise de agrupamentos é aplicada para agrupar semelhantes ou não, Melo (2016) utilizou-a para identificar áreas homogêneas e suas semelhanças, dentro do domínio da região semiárida nordestina e Farias (2016) para sub-bacias hidrográficas do Rio Taperoá (PB).

Da Silva *et al.* (2023) aplicaram as estatísticas de Agrupamentos e Ondaletas, já citadas anteriormente, para dados de precipitação de todas regiões de Portugal. Foram identificados dois grupos homogêneos (Grupos 1 e 2), semelhantes entre si, e distintos entre eles. A região do Grupo 1, centro a Norte do país tem influência climática da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), e a região do Grupo 2, do centro ao Sul de Portugal, tem influência do Dipolo do Atlântico e Ciclo de Manchas Solares.

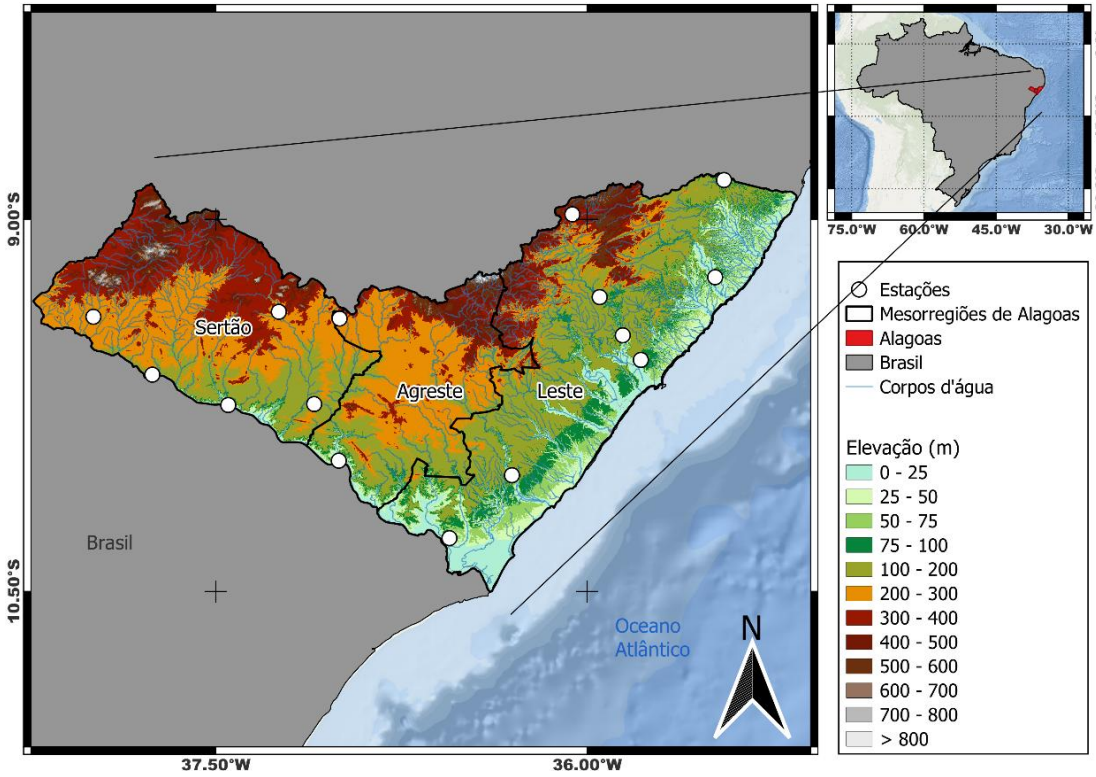
O objetivo do presente estudo foi verificar coerência e fase entre as séries de precipitação em Alagoas com séries de índices climáticos oceânicos e, caso existam essas relações entre as séries, adicionalmente, indicar como uma série influencia na outra, podendo assim realizar previsões climáticas de valores máximos locais, para as regiões climatologicamente homogêneas do estado de Alagoas.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de Estudo

A área de estudo corresponde ao Estado de Alagoas, situado no Nordeste brasileiro, e segundo menor estado do Brasil (Figura 1). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2022 foi constatado uma população de cerca de 3,12 milhões de pessoas e uma área de 27.830,6 km² para o território alagoano. Em sua parte leste, a precipitação média anual é superior a 1.000 mm, enquanto nas regiões do agreste e sertão tem valores entre 600-900 mm e 400-600 mm, respectivamente (Barros *et al.*, 2012).

Figura 1 - Mesorregiões do Estado de Alagoas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

2.2. Coleta de Dados

Os dados pluviométricos de Alagoas são provenientes da base de dados de séries históricas da Agência Nacional das Águas - ANA, disponível no Sistema de Informações Hidrológicas (www.hidroweb.ana.gov.br). Foram usados o máximo de estações disponíveis e o mesmo período de dados das séries. Além disso, os dados ausentes foram preenchidos com

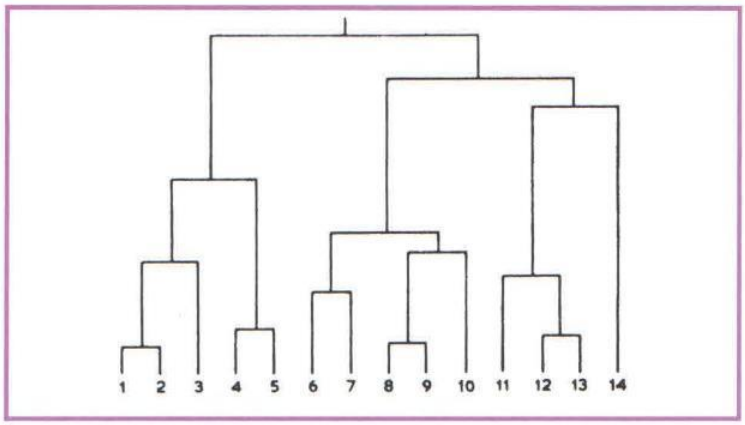
média climatológica, a fim de não superestimar ou subestimar nenhuma variável estudada na atual pesquisa (Da Silva, 2021; Bonfim *et al.*, 2020).

Foram obtidos os dados de índices climáticos Índice de Oscilação Sul (IOS) e Dipolo do Atlântico (DA) para a análise de coerência e fase entre as séries. Esses dados foram obtidos através do site da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA): https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/. Todos os índices acima têm inicialmente disponibilidade de dados de 1948 a 2020, sendo possível para esse período, verificar associação entre esses fenômenos climáticos e a variável local estudada; relação essa mostrada através da Ondaleta Cruzada.

2.3. Análise de Agrupamentos

Análise de Agrupamentos é uma técnica estatística que classifica variáveis em grupos homogêneos entre si, e distintos entre os grupos, e esses são chamados de cluster. Os grupos podem ser subdivididos de forma que, para uma determinada finalidade, é criada uma estrutura hierárquica para aquele determinado grupo de indivíduos, que é chamada de "cluster hierárquica" ou "dendrograma", como é representado na Figura 2 (VALLI, 2012):

Figura 2 - Exemplo de cluster hierárquica.



Fonte: Valli (2012).

Foi utilizada a técnica de Ward, o qual procura por divisões que atenuem a perda associada a cada agrupamento, sendo essa perda quantificada pela diferença entre a soma dos erros quadráticos de cada padrão e a média da partição em que está contida (BONFIM, 2018) Eq. 1:

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

Em que: **SEQ** é a soma dos erros quadráticos; **n** é o número total de elementos do agrupamento e **xi** é o n-ésimo elemento do agrupamento. A distância euclidiana é utilizada para medir a dissimilaridade entre dois indivíduos xi e xj, que é expressada pela Equação 2:

(2) $dij = [\sum_{k=1}^{n} pi(xi,k - xj,k)^2]^{1/2}$

Em que: xj,k representa os valores mensais dos locais xi e xj e pi é o peso associado a cada indivíduo.

Após identificar as áreas climatologicamente homogêneas os dados foram tratados para serem submetidos à análise de coerência e fase, e gerou-se índice de precipitação e índices climáticos oceânicos. Esses índices são anomalias dessas variáveis, calculadas a partir da climatologia mensal e normalizados pelos desvios padrão (Da SILVA, 2017):

(3) $AVari,j = \frac{(Vari,j - \overline{Vari})}{\sigma i}$

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

2.4. Análise de Coerência e Fase

A análise da coerência da ondaleta é empregada neste trabalho para a identificação das bandas de frequências e intervalos de tempo nos quais ambas as séries estão relacionadas (Tang *et al.,* 2014). A coerência da ondaleta é a razão entre o quadrado do espectro cruzado normalizado e o espectro de potência de ondaleta individual (Nobrega, 2020). A variação dos valores da relação testada está compreendida entre 0 a 1 (Grinsted *et al.,* 2004)

A análise da coerência da ondaleta de duas séries temporais X e Y é descrita pela Eq. 4 (Torrence e Webster (1999); Grinsted *et al.*, 2004, Blain e Kayano, 2011):

(4) $R_n^2(s) = \frac{|s(s^{-1}w_n^x(s)|^2}{S(s^{-1}|w_n^x|^2)S(s^{-1}|w_n^y(s)|^2)}$

Em que: Rn é a coerência; S é um operador de suavização

As relações de fases ou defasagens entre as séries temporais são caracterizadas pelo ângulo de inclinação dos vetores. Setas no sentido horizontal apontadas para a direita (0º) indicam que as séries estão em fase; tem-se as séries em fases opostas quando as setas estão direcionadas para a esquerda (180º). Para ângulos negativos entre 0° e 180° (-45º, -90º ou -135º) tem-se que o máximo da 1ª série ocorre antes do máximo da 2ª série, ou seja, a série 1 encontra-se antecipada, ocorrendo antes da série 2; quando as setas se encontram verticalmente para cima, com ângulos positivos (45º, 90º ou 135º) revelam que a 1ª série está defasada, o seu máximo ocorre depois do máximo da 2ª série. É importante a organização e a ordem em que as séries são processadas no software que calculará a coerência e fase, ou seja, qual série é a independente, série 1, e qual é a dependente, série 2, para que, assim, consiga calcular o período das defasagens, ou o quanto uma variável vai anteceder ou preceder a outra (Silva, 2015; Blain e Kayano, 2011).

Então, é possível a previsão dos máximos de precipitação de cada área homogênea de Alagoas em relação à variabilidade oceânica.

3. RESULTADOS

Os totais pluviométricos em parte do Leste do Nordeste (LNEB) ocorrem devido atuação dos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) (Fedorova *et al*., 2006), das Ondas de leste (Coutinho e Fritsch, 2007) e das Perturbações Ondulatórias no Campo dos Ventos Alísios (POAs) (Molion e Bernardo, 2002), ocorrendo principalmente de maio a agosto. Já nos meses de verão, acontecem os VCANs e Vórtices Ciclônicos de Médios Níveis (VCMN) em médios níveis da atmosfera segundo Alves *et al*. (2001; 2006) e Fedorova *et al*. (2006).

3.1. Áreas Homogêneas em Alagoas

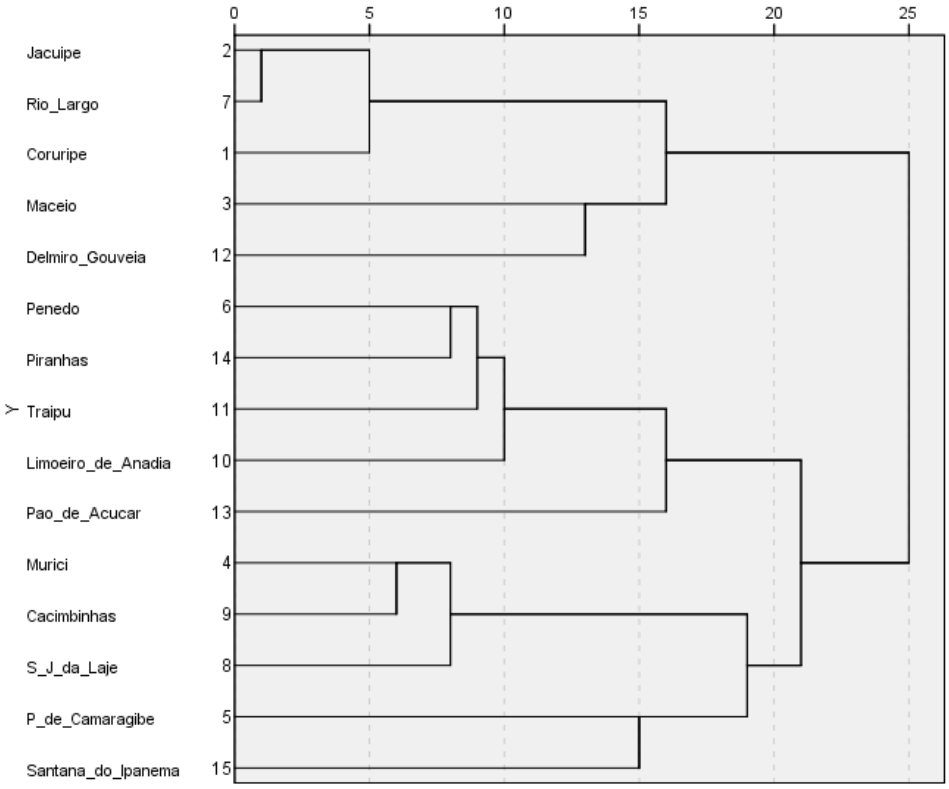
No reconhecimento de áreas pluviometricamente homogêneas, isto é, regiões que possuem regimes de chuvas semelhantes entre si, foi utilizada a análise de agrupamentos, e gerados dendrogramas.

O dendrograma apresenta três subgrupos e dois grandes grupos gerados entre alguns municípios de Alagoas, em decorrência de suas semelhanças e diferenças em relação aos regimes pluviométricos de cada região (Figura 3). Jacuípe e Rio Largo foram os municípios que apresentaram maior semelhança em toda a análise, correspondente a sua menor distância euclidiana. Juntos a Coruripe, esses três municípios juntos à Maceió e Delmiro Gouveia, as quais obtiveram semelhanças entre si, resultando no primeiro subgrupo.

Posteriormente, no segundo subgrupo, Penedo e Piranhas tiveram certas semelhanças, contudo, muito menores quando comparadas aos municípios de Jacuípe e Rio Largo. Logo após uniram-se a Traipu, aumentando a distância euclidiana e em seguida uniu-se a Limoeiro de Anadia, que por fim, uniu-se ao município de Pão de Açúcar, se tornando igual à distância euclidiana entre o subgrupo de Maceió-Delmiro-Jacuípe-R.Largo-Coruripe.

O último subgrupo formou-se com Murici e Cacimbinhas, sendo esses os municípios que obtiveram maiores semelhanças, seguido por São José da Laje. Uma ligação não tão direta foi formada entre os municípios de Santana do Ipanema e Passo de Camaragibe e, que uniram-se aos municípios de Murici-Cacimbinhas-S.J.Laje. Após isso, o 3º subgrupo ligou-se ao 2º subgrupo com menos semelhança, e ambos uniram-se com o 1º, resultando numa ligação indireta com a maior distância euclidiana observada e com a menor semelhança nessa análise de agrupamentos.

Figura 3 - Análise de agrupamentos anual entre alguns municípios de Alagoas. O eixo X representa a distância euclidiana; quanto maior, menor a semelhança; e o eixo Y são as localidades em estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

As Análises de Agrupamentos em períodos sazonais (Figura 4) mostram algo que as quatro análises têm em comum, que é a semelhança no regime pluviométrico entre os municípios de Jacuípe e Rio Largo, devido semelhança direta apresentada em todas as estações do ano. Durante o verão (Figura 4a), inverno (Figura 4c) e primavera (Figura 4d), ambos os municípios são seguidos por Coruripe, sendo no verão a semelhança mais direta com Jacuípe e Rio Largo.

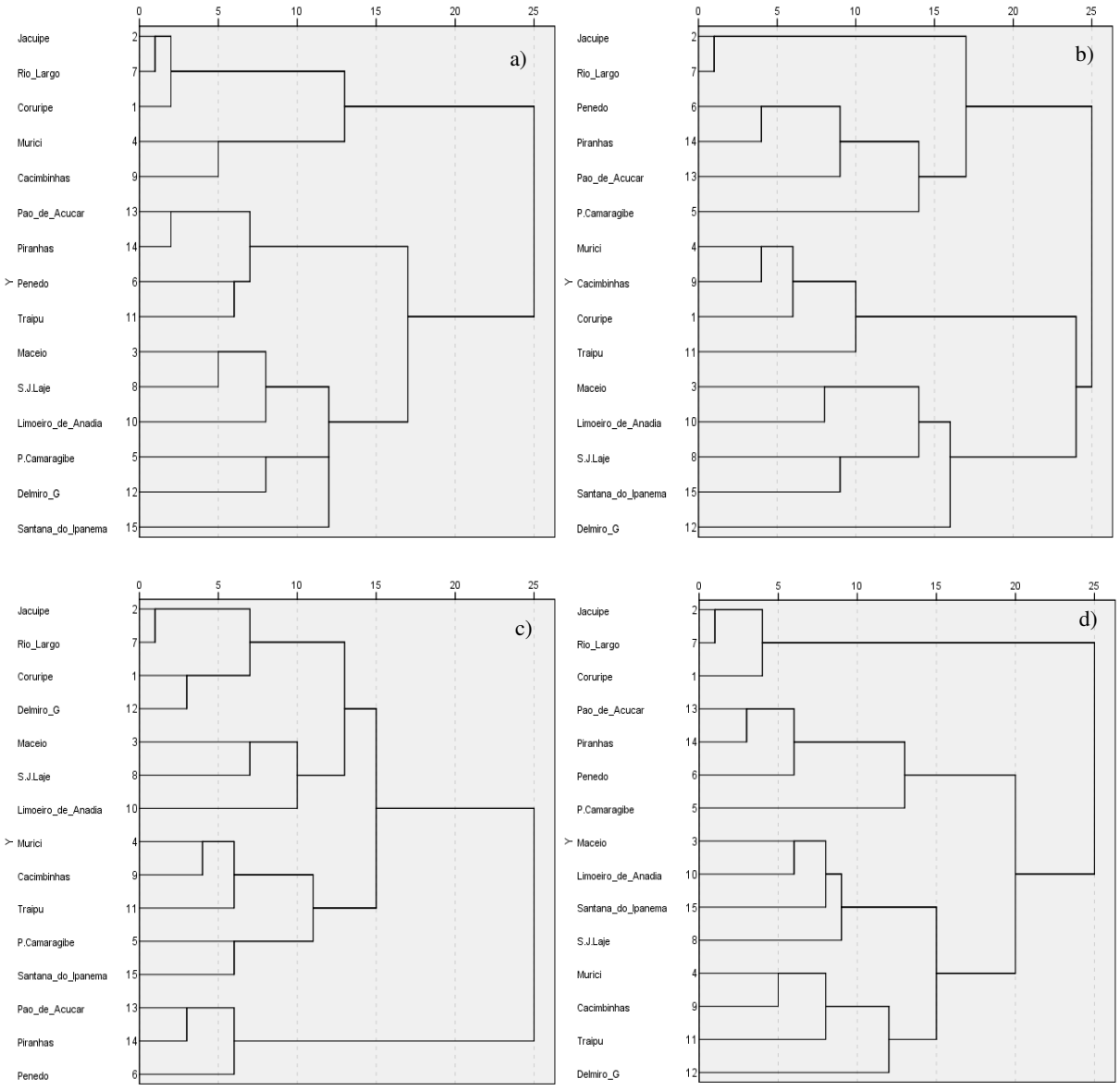
No verão (a), o 1º subgrupo é composto por Jacuípe, Rio Largo e Coruripe, com as maiores semelhanças do subgrupo, sendo Coruripe levemente diferente dos dois anteriores, seguidos por Murici e Cacimbinhas. O 2º subgrupo foi composto por 4 municípios, com Pão de Açúcar e Piranhas apresentando as maiores semelhanças do subgrupo, sendo igual à distância euclidiana dos municípios de Jacuípe-R.Largo-Coruripe. Por fim, o 3º subgrupo apresentou seis municípios, com Maceió e São José da Laje sendo os mais semelhantes, entretanto, com relação menos direta quando comparados com os subgrupos anteriores. No desfecho, 3º subgrupo juntou-se com o 2º e ambos obtiveram ligação indireta com o 1º subgrupo.

Durante o outono (Figura 4b), Jacuípe e Rio Largo novamente apresentaram semelhança direta, e uniram-se com os municípios de Penedo, Piranhas, Pão de Açúcar e Passo de Camaragibe em uma ligação não tão direta, com distância euclidiana entre 15 e 20. Murici, Cacimbinhas, Coruripe e Traipu formaram um subgrupo mais homogêneo, já que a maior distância euclidiana no subgrupo foi de 10. Para completar, o último subgrupo obteve municípios tanto da região leste de Alagoas, quanto do sertão de alagoano, contudo, com semelhanças não tão diretas. Novamente o 3º subgrupo juntou-se ao 2º que, por sua vez, juntaram-se ao 1º sub grupo por ligação indireta.

No inverno (Figura 4c) é possível notar que houveram quatro subgrupos e, além disso, o 1º, 2º e 3º subgrupo tiveram maiores semelhanças entre si, diferentemente do que foi visto até o momento. Jacuípe, Rio Largo, Coruripe e Delmiro Gouveia originaram o 1º subgrupo. Já Maceió, São José da Laje e Limoeiro de Anadia, formaram o 2º subgrupo. Murici, Cacimbinhas, Traipu, Passo de Camaragibe e Santana do Ipanema foram os responsáveis pelo 3º subgrupo da análise, na qual Murici e Cacimbinhas apresentaram maiores semelhanças do subgrupo. O 4º subgrupo foi composto apenas por três municípios, sendo eles Pão de Açúcar, Piranhas e Penedo, municípios tanto do sertão, quanto do leste alagoano. Os três primeiros subgrupos se assemelharam mais em relação ao 4º subgrupo, que resultou numa ligação indireta aos 3 anteriores.

Por fim, na primavera (Figura 4d) também é possível notar quatro subgrupos, sendo o 1º composto somente por três municípios, sendo os três integrantes da região leste de Alagoas. Pão de Açúcar, Piranhas, Penedo e Passo de Camaragibe integraram o 2º subgrupo, enquanto Maceió, Limoeiro de Anadia, Santana do Ipanema e São José da Laje compuseram o 3º subgrupo, restando Murici, Cacimbinhas, Traipu e Deilmiro Gouveia para 4º subgrupo. O 2º, 3º e 4º subgrupos , foram todos compostos por quatro municípios, sendo apenas o 1º subgrupo com três. Ao final, o 3º e 4º subgrupos apresentaram maiores semelhanças, seguidos do 2º subgrupo com semelhança menor, ligando todos os três ao 1º subgrupo, resultando em semelhança indireta.

Figura 4 - Análise de agrupamentos entre alguns municípios de Alagoas em períodos sazonais verão (a), outono (b), inverno (c) e primavera (d). O eixo X representa a distância euclidiana; quanto maior, menor a semelhança; e o eixo Y são as localidades em estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os resultados encontrados pelos dendrogramas da Figura 4 foram resumidos em uma tabela explicando a variação dos municípios que compõem os grupos homogêneos ao longo das estações do ano (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição do grupo 1 e do grupo 2 para cada análise de agrupamento.

	Anual	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Grupo 1	Jacuípe, Rio Largo, Coruripe, Maceió, D. Gouveia.	Jacuípe, Rio Largo, Coruripe, Murici, Cacimbinhas.	Jacuípe, Rio Largo, Penedo, Piranhas, P. de Açúcar, P. de Camaragibe.	Jacuípe, Rio Largo, Coruripe, D. Gouveia, P. de Camaragibe, S. J. da Laje, Murici, Maceió, L. de Anadia, Cacimbinhas, S. do Ipanema, Traipu.	Jacuípe, Rio Largo, Coruripe.
Grupo 2	Penedo, Piranhas, Traipu, L. de Anadia, P. de Açúcar, Murici, Cacimbinhas, S. J. da Laje. P. de Camaragibe, S. do Ipanema.	Penedo, Piranhas, Traipu, L. de Anadia, P. de Açúcar, S. J. da Laje. P. de Camaragibe, S. de Ipanema.	Murici, Cacimbinhas, Coruripe, Traipu, Maceió, L. de Anadia, S. J. da Laje, S. de Ipanema, D. Gouveia.	P. de Açúcar, Piranhas, Penedo.	D. Gouveia, P. de Camaragibe, S. J. da Laje, Murici, Maceió, L. de Anadia, Cacimbinhas, S. do Ipanema, Traipu, Penedo, Piranhas, P. de Açúcar.

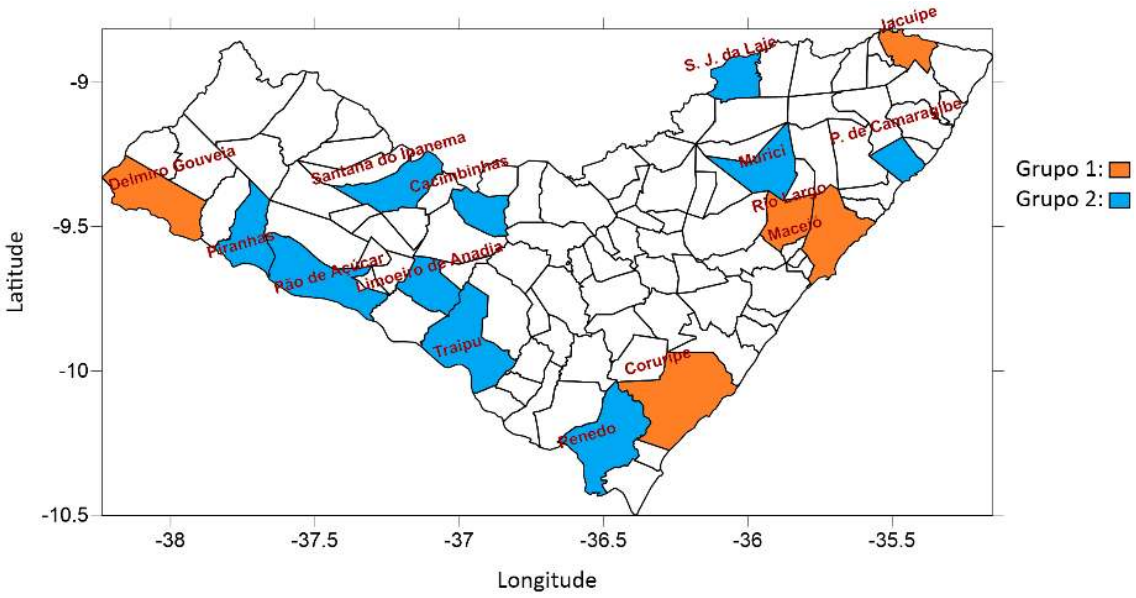
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Foram gerados mapas de distribuição espacial com os municípios de Alagoas separados em grupos conforme as análises de agrupamentos das Figura 3 e 4 (a, b, c e d), com o objetivo de melhorar o entendimento e visualização espacial das áreas homogêneas, com regimes pluviométricos semelhantes. Comparando todas as figuras a partir da Figura 5 até a Figura 9, é possível notar a variação dessas semelhanças nos regimes pluviométricos de cada município, devido variação sazonal da atmosfera e suas mudanças nos sistemas e fenômenos que têm atuação direta ou indireta nas localidades estudadas, no período de tempo analisado.

Comparando especificamente a Figura 6 com a Figura 8, verão e inverno, é visível diferença entre ambos, já que são duas estações polarizadas onde, durante o verão, a maioria das estações estavam inseridas no grupo 2 (azul) e, com a chegada do inverno, houve a mudança de algumas estações do grupo 2 (azul) para o grupo 1 (laranja), permanecendo no

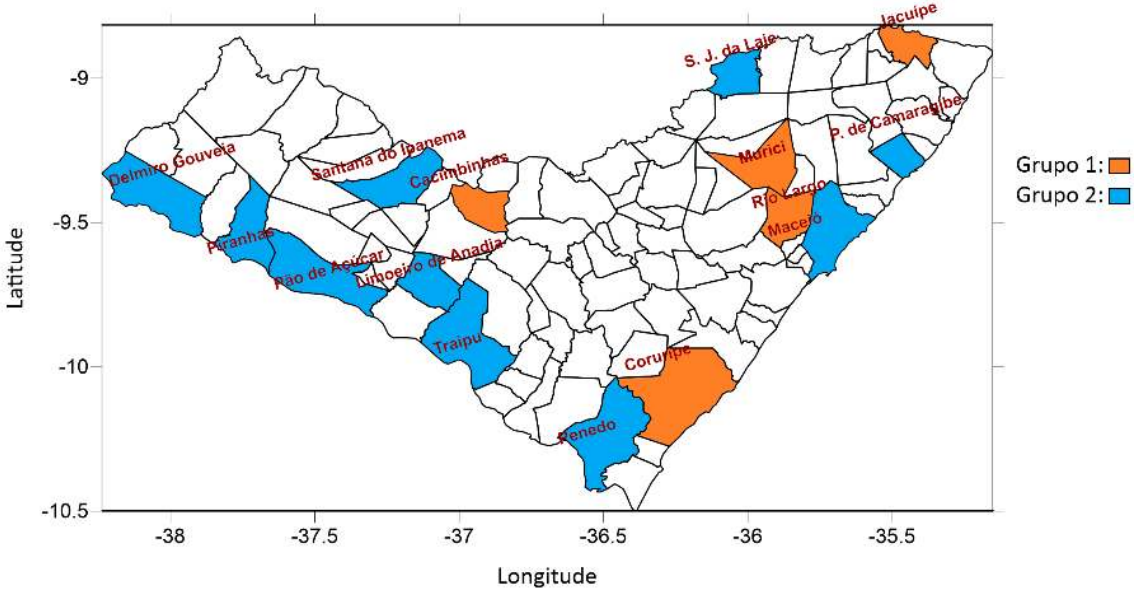
grupo 2 (azul) apenas os municípios de Piranhas, Pão de Açúcar e Penedo, também integravam o grupo 2 (azul) durante o verão. Já com a chegada da primavera (Figura 9), após o inverno, a maioria dos municípios voltam a integrar o grupo 2 (azul) novamente.

Figura 5 - Distribuição espacial dos grupos da análise de agrupamentos anual.



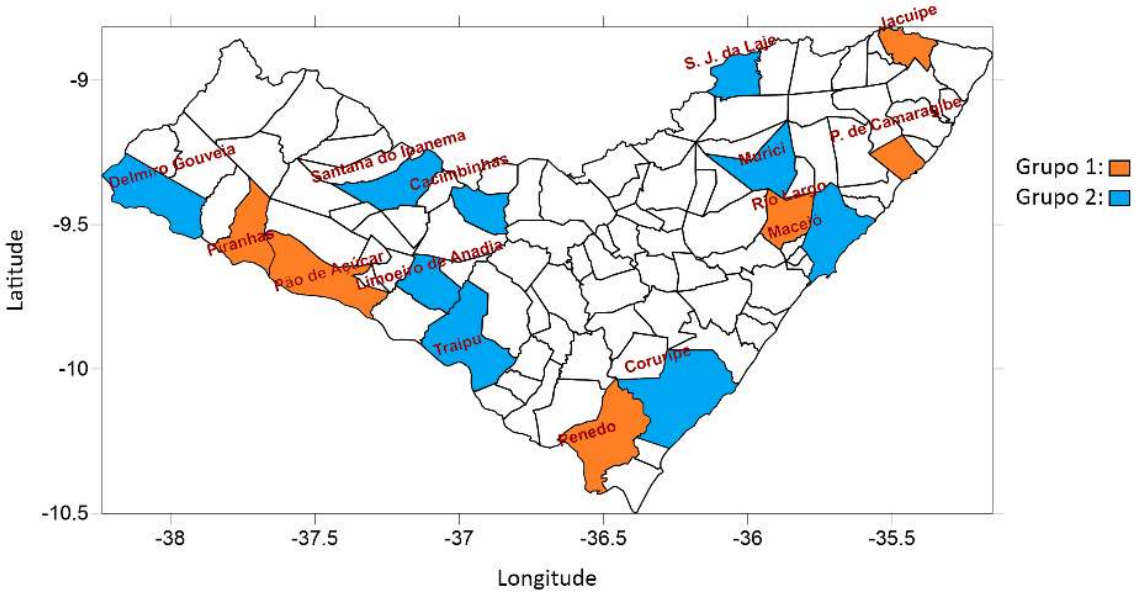
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Figura 6 - Distribuição espacial dos grupos da análise de agrupamentos durante o verão.



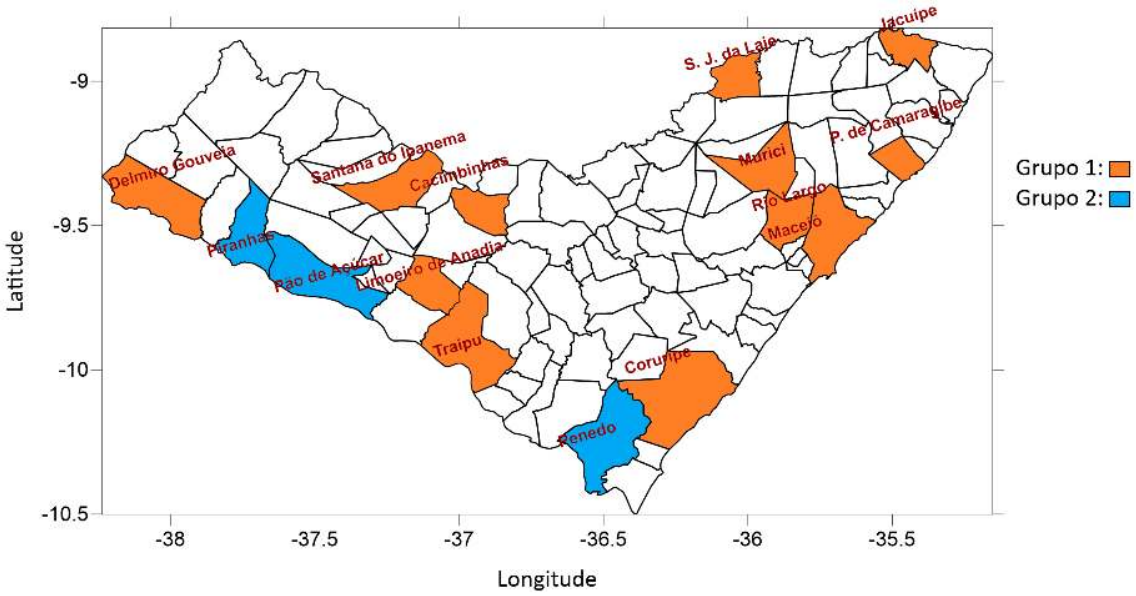
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Figura 7 - Distribuição espacial dos grupos da análise de agrupamentos durante o outono.



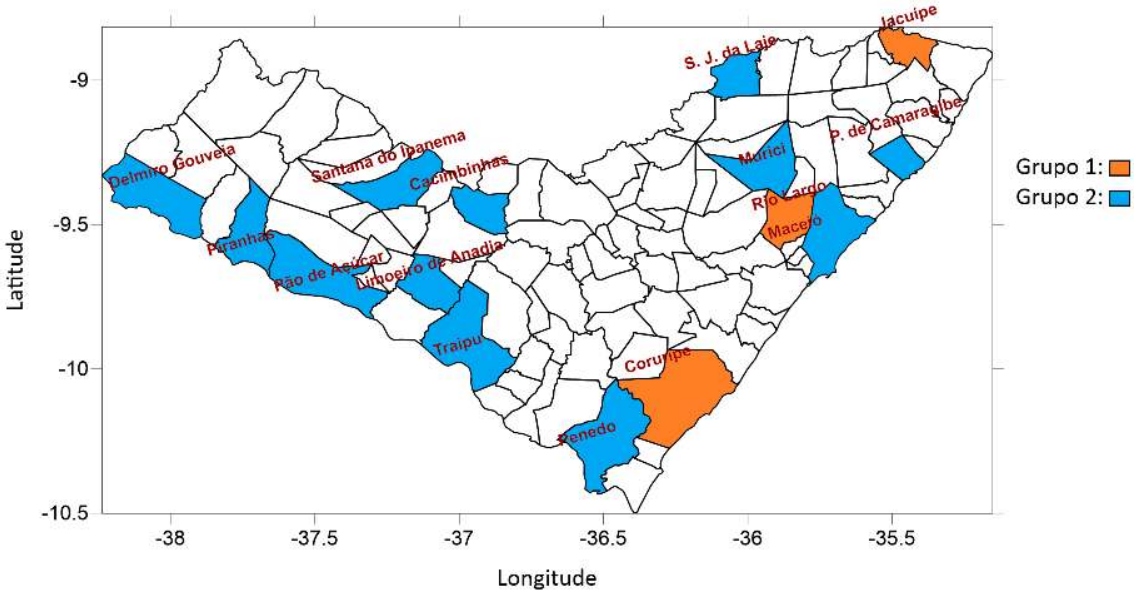
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Figura 8 - Distribuição espacial dos grupos da análise de agrupamentos durante o inverno.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Figura 9 - Distribuição espacial dos grupos da análise de agrupamentos durante a primavera.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

De acordo com Bonfim *et al.* (2020), o conhecimento dos grupos homogêneos nas Bacias hidrográficas do Rio Aguapeí e do Rio do Peixe contribui de maneira essencial para o gerenciamento de recursos hídricos, uma vez que essas estações apresentaram o mesmo comportamento climático facilitando a compreensão espacial da precipitação local. A presença de áreas homogêneas simplifica a aplicação de medidas em casos de cheias ou secas, além de auxiliar nas atividades agrícolas, armazenamento de água e energia para a região. Em sua pesquisa, Bonfim *et al.* (2020) identificou que as Bacias estudadas são compostas por três subgrupos com comportamento não tão semelhantes nas séries de precipitação e dois grupos climáticos homogêneo com semelhança indireta (distintos) entre eles, o que sugerem que contribui para a implementação de gestão hídrica e agrícola na região. Apontou-se também que os eventos extremos de chuva do Grupo 1 são mais intensos que do Grupo 2 na Bacia hidrográfica. Os resultados encontrados por esses autores para essa área na região Sudeste do Brasil têm semelhanças com o presente estudo realizado para Alagoas.

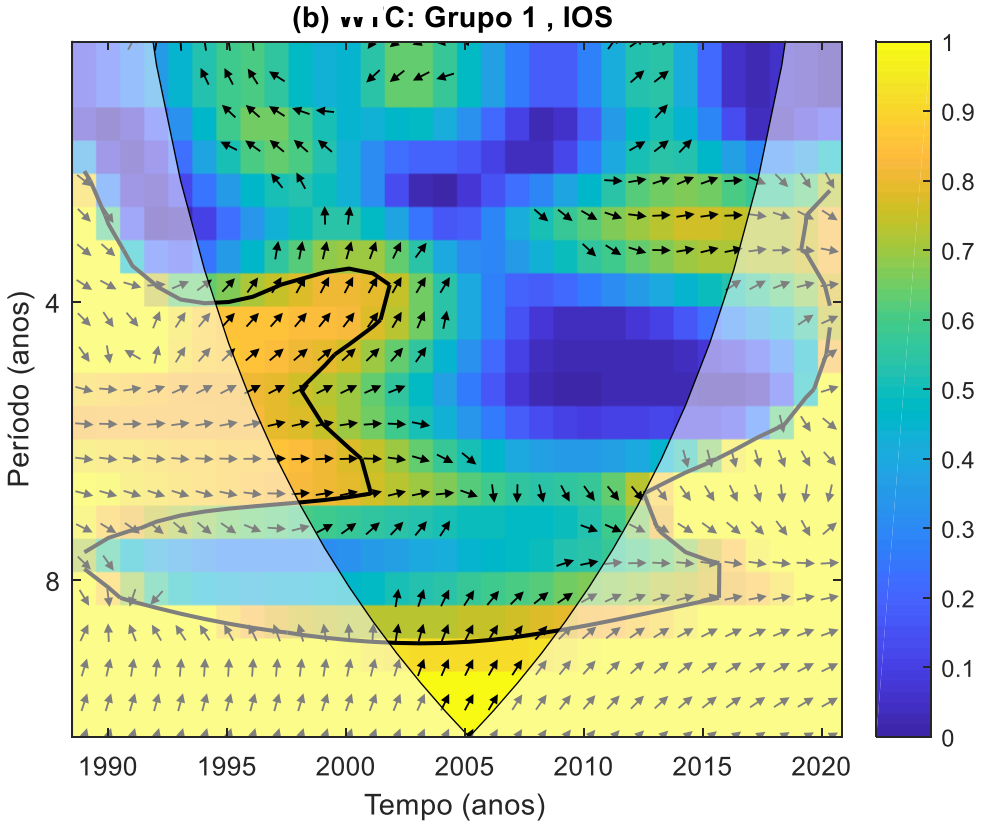
França e Da Silva (2023) utilizando também a análise de agrupamento, identificaram regiões com comportamento semelhante na Bacia hidrográfica do Rio São Francisco. Em relação às médias anuais, formaram-se dois grandes grupos climáticos que se assemelham indiretamente entre si. Além das médias anuais, a análise de agrupamento foi utilizada para avaliar as semelhanças para as estações do ano, na qual cada estação apresentou uma organização de grupos distinta. Para o verão, formaram-se quatro grupos, para o outono e o

inverno, cinco grupos e para a primavera, surgiram três grupos. Segundo as autoras, o conhecimento dos grupos homogêneos na BHSF pode contribuir de maneira essencial para o gerenciamento dos recursos hídricos, buscando controlar o uso e proteger esses recursos vitais. Os métodos hierárquicos de análise de clusters oferecem um meio de extrair maior compreensão de diferentes séries temporais, sendo um dos instrumentos mais adequados para definir regiões pluviometricamente homogêneas. A variabilidade da precipitação e a disponibilidade hídrica de cada região homogêneas podem impactar nas atividades socioeconômicas, agrícolas e industriais. As regiões hidrográficas que compõem a Bacia possuem características peculiares, justificando a diferença na distribuição espacial da precipitação entre essas regiões.

3.2. Coerência e Fase Entre Precipitação dos Grupos Homogêneos e IOS e Dipolo do Atlântico

Para entendimento da Ondaleta Cruzada (WTC), conforme a escala de cores da Figura 10, a máxima coerência ocorre em tonalidades amarelas, enquanto a mínima é ilustrada em tonalidades azuis. Valores contornados pela linha preta contínua apresentam confiança estatística a nível de 95%. Além disso, as setas mostram se o máximo de precipitação na região estudada está em fase com o fenômeno analisado. Caso a seta esteja apontada para direita (0°), significa que, tanto o máximo da precipitação quanto o máximo do fenômeno, estão em fase período estudado. O contrário ocorre quando a seta está apontada para a esquerda (180°), mostrando que o máximo de precipitação acontece na mínima intensidade do fenômeno.

Figura 10 - Ondaleta de Coerência (WTC) entre o Grupo 1 da análise de agrupamentos anual e Índice de Oscilação Sul no período de 1989-2021. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.



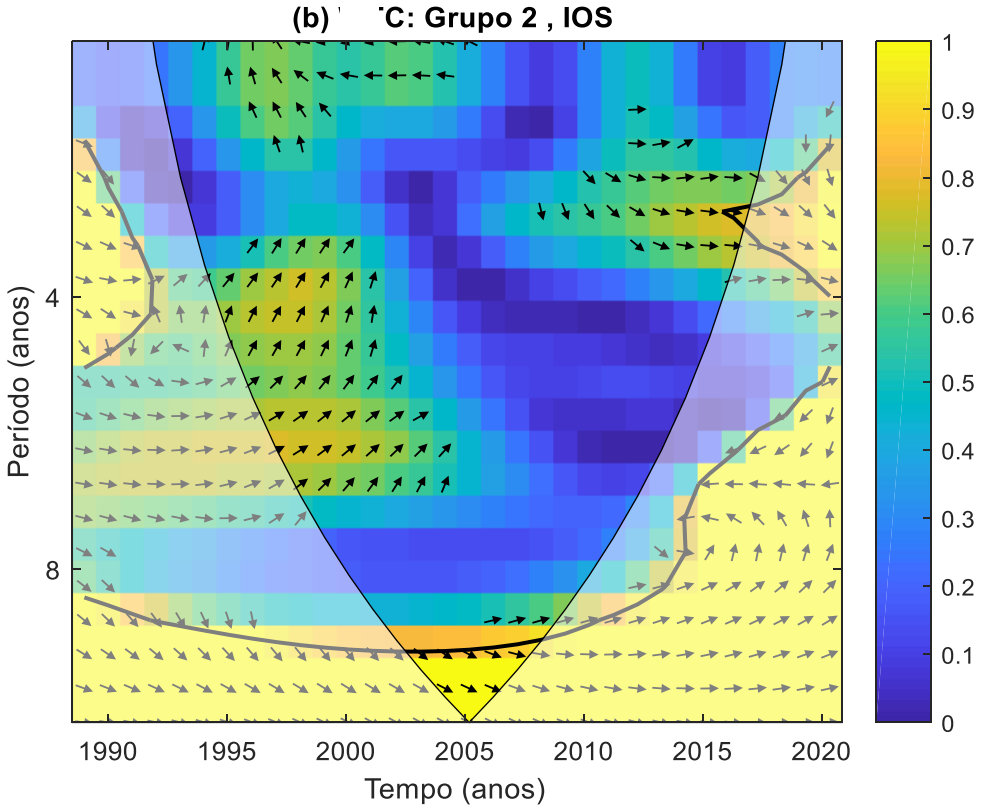
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

De acordo com o que foi explicado, na Figura 10, aproximadamente na escala de 4 anos, onde nota-se forte coerência, entre 1995 e 2001, com setas voltadas para cima e direita, em ângulo de 45°, indicando que o máximo de precipitação ocorre aproximadamente 0,5 ano ou 6 meses após o máximo do IOS. Ao se aproximarem da escala de 6 anos, inclinam gradativamente à direção de 0°, indicando que, próximo à escala de 6 anos, os eventos de máxima precipitação no Grupo 1 estão em fase com os máximos valores do IOS (Índice de Oscilação Sul). Também, na escala próxima de 2 anos, contudo, entre os anos 2010 e 2019, é possível notar valores significativos de coerência e a mesma fase entre as precipitações e o IOS.

Já para a relação entre o Grupo 2 e o IOS, conforme a Figura 11, as maiores coerências ocorrem no mesmo período da figura anterior, contudo, existe fase entre as precipitações e o ENOS somente na escala próxima a 2 anos, entre 2010 e 2016, aproximadamente. Na escala de 4 a 7 anos, praticamente todas as setas ficaram em um ângulo próximo a 45°, indicando

que o máximo do IOS ocorre de 0,5 a 0,875 ano antes do máximo de precipitações para o Grupo 2.

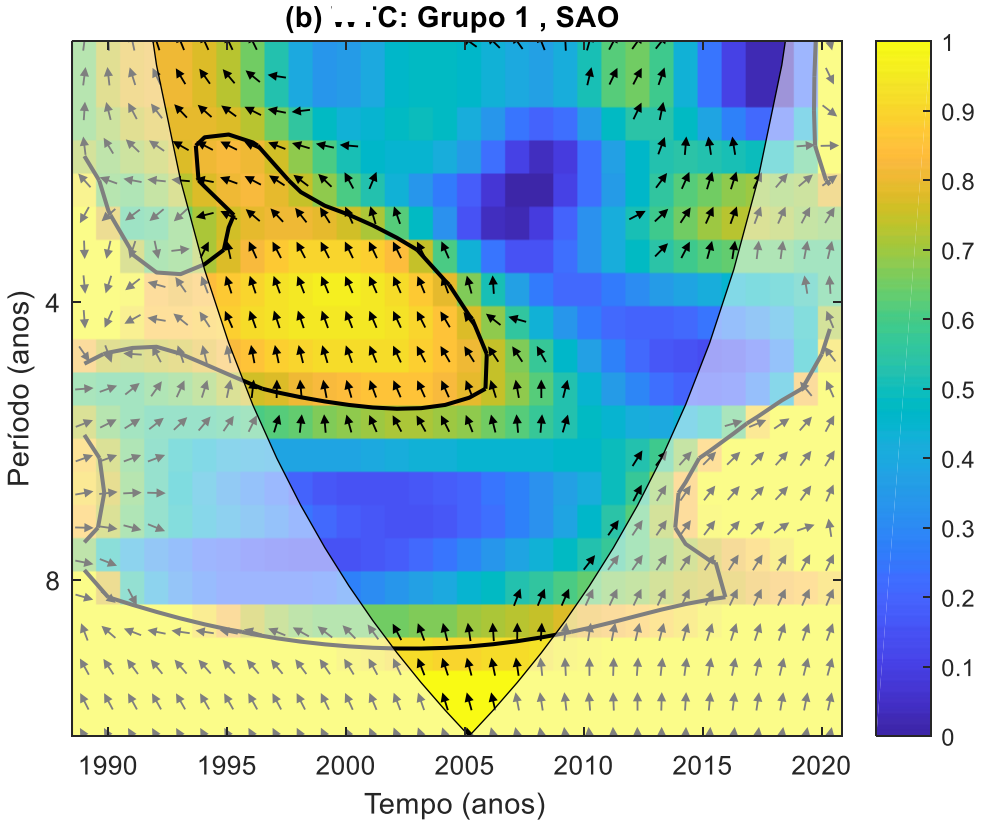
Figura 11 - Ondaleta de Coerência (WTC) entre o Grupo 2 da análise de agrupamentos anual e Índice de Oscilação Sul no período de 1989-2021. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Analisando a relação entre as precipitações do Grupo 1 e o Dipolo do Atlântico conforme a Figura 12, nos anos entre 1995 a 2005 e no período de 2 a 5 anos, aproximadamente, nota-se uma região com variâncias significativas ao nível de confiança de 95%, além de alto valor de coerência. A maioria das setas têm inclinação de 135°, também indicando que o máximo de da precipitação ocorre depois do máximo do Dipolo, com um "atraso" de 1 ano e 6 meses (1,5 ano) entre eles.

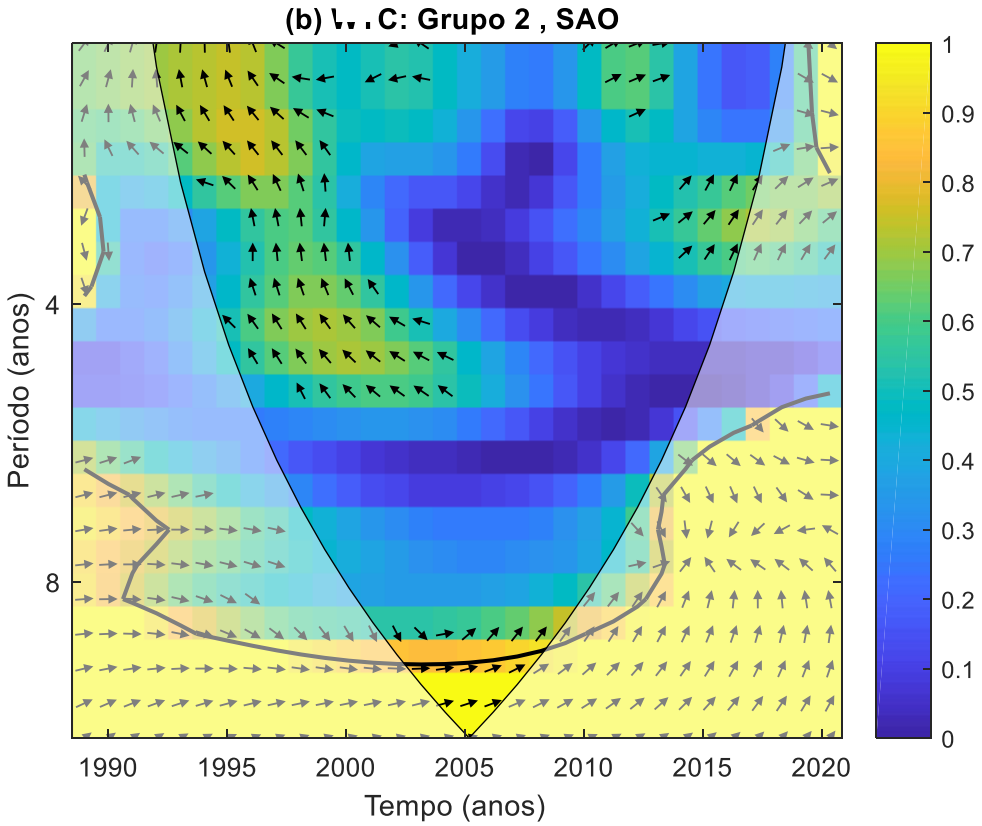
Figura 12 - Ondaleta de Coerência (WTC) entre o Grupo 1 da análise de agrupamentos anual e Dipolo do Atlântico no período de 1989-2021. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na Figura 13, relação entre o Dipolo do Atlântico e a precipitação do Grupo 2, tem-se um cenário diferente, com menor coerência entres os de 1995 e 2005, contudo, de maneira geral, com setas mantendo a mesma inclinação que na figura anterior, exceto no período de 3 anos, onde adquiriram angulação de 90°, mostrando que o Dipolo antecede a precipitação em 9 meses, além de coerências um pouco menores (Figura 13). Já entre os anos de 2015 a 2020, as setas têm 45° de inclinação, também indicam a antecedência do Dipolo, entretanto, em 4 meses e meio.

Figura 13 - Ondaleta de Coerência (WTC) entre o Grupo 2 da análise de agrupamentos anual e Dipolo do Atlântico no período de 1989-2021. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

4. CONCLUSÕES

A variabilidade espacial da precipitação ao longo de cada mês do ano mostrou valores relativamente maiores nos últimos meses do ano. Nos meses inicias, os valores negativos, relacionados a períodos mais secos, alcançavam maiores valores.

Por meio da análise de agrupamentos, encontrou-se dois grupos de precipitação em Alagoas, sendo estes homogêneos entre si, e distintos entre eles. Além disso, todos os municípios transitaram entre os grupos homogêneos de acordo com a variação das estações ao longo do ano, exceto Jacuípe e Rio Largo, que se mantiveram sempre no Grupo 1.

Em relação às análises de ondaleta cruzada, todas as figuras (10 a 13) apresentaram atividades entre os anos de 1995 a 2005, entretanto, com períodos, coerência e fases entre as séries variados. Para o Grupo 1, o Dipolo do Atlântico apresentou forte coerência entre os

anos de 1995 a 2005. Já o Grupo 2, apresentou padrões semelhantes durante Dipolo do Atlântico e Índice de Oscilação Sul

O Grupo 1 obteve maior precipitação seis meses após o máximo do IOS, e o máximo da precipitação, 1,5 ano depois do máximo do Dipolo. O máximo do IOS ocorre de 0,5 a 0,875 ano (6 meses a 10,5 meses) antes do máximo de precipitação para o Grupo 2, e o máximo do Dipolo do Atlântico ocorreu 4,5 meses antes do máximo de precipitação do Grupo 2.

Assim, concluiu-se que os máximos de precipitação para os Grupos 1 e 2 ocorrem após máximos de IOS e Dipolo, mas a resposta da influência do Dipolo do Atlântico sobre a precipitação do Grupo 2 foi a mais rápida observada.

REFERÊNCIAS

ALVES, Jamile Evangelista; GONÇALVES, Thiago dos Santos; NASCIMENTO, Sérgio Augusto de Morais. Precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, Nordeste do Brasil: tendências e variabilidade (1970-2020). **Boletim Do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, *17*(2), 527-542. https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v17i2.841. 2022

ARAÚJO, Glícia Ruth Garcia; SANTOS, Cláudio Moisés; DA SILVA, Aline Gomes. Avaliação das Parametrizações Cumulos 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 Institudo de Geociências - UFRJ**, v. 42, 2018.

BARROS, Alexandre Hugo Cezar; DE ARAÚJO FILHO, José Coelho; DA SILVA, Ademar Barros; SANTIAGO, Gabriela Ayane. Climatologia do estado de Alagoas. **Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 211**. 1678-0892. 2012.

BLAIN, Gabriel Constantino; KAYANO, Mary Toshie. 118 Anos de dados mensais do Índice Padronizado de precipitação série meteorológica de Campinas, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.1, p.137-148, 2011.

BONFIM, Osmar Evandro Toledo; DA SILVA, Djane Fonseca; KAYANO, Mary Toshie; ROCHA, Lucas Henrique dos Santos. Análise dos Eventos Climáticos Extremos e de suas Causas Climáticas para Redução de Riscos nas Bacias Hidrográficas Aguapeí e Peixe. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. Especial, p. 755-768, 2020.

DA SILVA, Djane Fonseca. **Análise de aspectos climatológicos, agroeconô-micos, ambientais e de seus efeitos sobre a Bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL E PE)**. 2009. 212 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - UFCG, Campina Grande-PB, 2009.

DA SILVA, Djane Fonseca. Aplicação de Análises de Ondaletas para Detecção de Ciclos e Extremos Pluviométricos no Leste do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 32, 187– 198, 2017.

DA SILVA, Djane Fonseca; KAYANO, Mary Toshie; NETO, Pedro Fernandes de Souza; SILVA, Fabrício Daniel dos Santos. Coerência entre variabilidade climática do oceano pacífico e eventos extremos climáticos em Santiago (Chile). **Revista Brasileira de Climatologia**, *31*, 631-648. 2022.

DA SILVA, Djane Fonseca. Relação de coerência e fase entre eventos extremos de precipitação em maceió e variabilidade climática global. **Práticas e Pesquisas aplicadas em Ciências Exatas**, Volume 2, 2023.

DUARTE, Cristiana Coutinho; NÓBREGA, Ranyére Silva; COUTINHO, Roberto Quental. Análise climatológica e dos eventos extremos de chuva no município do Ipojuca, Pernambuco. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 32, n. 2, 2015. **IBGE**. 2020. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/cidades-e estados/al/maceio.html>. Acesso em: 05 de novembro de 2020.

GRINSTED, Aslak; MOORE, John C.; JEVREJEVA, Svetlana. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. **Non linear processes in geophysics**, v.11, p.561-566, 2004.

GUEDES, Hugo Alexandre Soares; PRIEBE, Priscila dos Santos; MANKE, Emanuele Baifus Tendências em séries temporais de precipitação no norte do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 34(2), 283-291. http://dx.doi. org/10.1590/0102-77863340238, 2019

HAYNES, Kaylea; ECKLEY, Idris A; FEARNHEAD, Paul. Efficient penalty search for multiple changepoint problems. **arXiv preprint arXiv:**1412.3617, 2014.

JACOBI, Pedro Roberto; GIATTI, Leandro. Eventos extremos, urgências e mudanças climáticas. **Revista Ambiente e Sociedade**, v. 20, n. 3, 2017.

KAYANO, Mary Toshie; BLAIN, Gabriel Constantino. Análisis de ondeletas de series mensuales de precipitación, temperaturas máximas y mínimas mensuales en Campinas. In: CONGRESO VENEZOLANO DE AGROMETEOROLOGIA, 4. 2007. Maracay, **Anais** Fundacite Táchira.

KAYANO, Mary Toshie; CAPISTRANO, Vinicius Buscioli. How the Atlantic multidecadal oscillation (AMO) modifies the ENSO influence on the South American rainfall. **International Journal of Climatology**, v. n/a, p. n/a-n/a, 2013.

LIRA, Bruna Roberta Pereira; LOPES, Luiza de Nazaré Almeida; CHAVES, Juliane Ribeiro; SANTANA, Laila Rover; FERNANDES, Lindemberg Lima. Identificação de homogeneidade, tendência e magnitude da precipitação em Belém (Pará) entre 1968 e 2018. **Anuário do Instituto de Geociências**, 43(4), 426- 439. http://dx.doi.org/10.11137/2020_4_426_439. 2020

LUCENA, Joselma Araújo. **Dinâmica atmosférica e a precipitação pluvial no núcleo de desertificação de Cabrobó-PE**. 2017. 119 f. Tese (Doutorado em Geografia). Recife. 2017. NOAA, 2020. Disponível em: https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/. Acesso em 21/11/20

NÓBREGA, José Nildo da. **Estudos de variabilidades interanual e interdecenal da precipitação pluvial das regiões hidrográficas da parte setentrional oriental do Brasil utilizando a análise de ondaletas**. 2020. 160 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Pós Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2020.

ONU, 2020. **Natural Disasters In Latin America And The Caribbean**. Disponível em: https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/20191203-ocha-desastres_naturales.pdf. Acesso em: 5 set. 2023.

SILVA, Rosimeire Araújo. **Padrões de variabilidade multiescalar na temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical e Norte e seus efeitos nas chuvas da América do Sul**. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente) – INPA, Manaus-AM, 2015.

SOUSA, Francisco de Assis Salviano; VIEIRA, Valmir Rocha; DA SILVA, Vicente de Paulo Rocha; MELO, Valneli Silva; GUEDES, Roni Walter de Souza. Estimativas dos riscos de chuvas extremas nas capitais do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, 2016.

TORRENCE, Christopher; WEBSTER, Peter. Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system. **Journal of Climate**, v.12, p.2679 – 2690, 1999.

VALLI, Márcio. Análise de Cluster. **Augusto Guzzo Revista Acadêmica**, n. 4, 2012.