

## PLUVIOMETRIA ESPAÇO-TEMPORAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO UNA

*SPATIAL-TEMPORAL PLUVIOMETRY OF THE UNA RIVER BASIN*

Lucas Ravellys Pyrrho de ALCÂNTARA<sup>1</sup>, Jonathan Luan Alves BISERRA<sup>2</sup>, Larissa Fernandes COSTA<sup>1</sup>, Adriana Thays Araújo ALVES<sup>2</sup>, Abraão Alves VILA NOVA<sup>1</sup>, Severino Martins dos SANTOS NETO<sup>1</sup>, Artur Paiva COUTINHO<sup>2</sup>, Antonio Celso Dantas ANTONINO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Energia Nuclear, Avenida Professor Luiz Freire, 1000 - Cidade Universitária - Recife, PE. E-mail: ravellyspyrrho@gmail.com; larissafcosta@hotmail.com; abe.alves2@gmail.com; martinsdsn@gmail.com; acdantonino@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Avenida Campina Grande, s/n - Km 59 - Nova Caruaru - Caruaru, PE. E-mail: jonathanluanalvesbiserra@gmail.com; adrianatharaaraju@gmail.com; arthur.coutinho@yahoo.com.br

Introdução  
Materiais, Métodos e Técnicas  
Área de Estudo  
Aquisição dos Dados Pluviométricos  
Análise *Cluster*  
Preenchimento de Falhas  
Espacialização de Dados Pluviométricos  
Resultados e Discussões  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** - A Bacia Hidrográfica do Rio Una detém de um regime pluviométrico diversificado. Graças a sua extensão ela está inserida em duas mesorregiões pernambucanas (Zona da Mata e Agreste) que apresentam padrões climáticos distintos. Nesse contexto, essa pesquisa visa analisar o comportamento pluviométrico espaço-temporal na Bacia Hidrográfica do Rio Una, por meio de uma análise de homogeneidade pelo algoritmo *K-means*, preenchimento de falhas com o vetor regional e espacialização dos dados médios mensais e anuais com o algoritmo do IDW. De acordo com o regime pluviométrico mensal o algoritmo *Cluster K-means* determinou coerentemente quatro *clusters* na Bacia Hidrográfica do Rio Una. Quanto ao preenchimento de falhas pluviométricas, o método do vetor regional demonstrou bons resultados no preenchimento de falhas mensais. Com a curva de dupla massa, foi possível perceber consistência dos dados pluviométricos anuais. Na espacialização foi constatada uma grande variabilidade nas precipitações totais anuais e nos meses considerados úmidos, dos quais detêm a magnitude pluviométrica decrescente na direção Leste-Oeste (inversamente a altitude).

**Palavras-chave:** *cluster K-means*, vetor regional, IDW, Zona da Mata, Agreste.

**ABSTRACT** - The Una River Basin holds a diversified rainfall regime. Due to the extension of this Basin, it is inserted in two mesoregions of the Pernambuco state (Zona da Mata and Agreste), which present different climatic patterns. In this context, this research aims to analyze the space-time rainfall behavior in the Una River Basin. This evaluation was carried out through the analysis of homogeneity by the *K-means* algorithm, filling of lacks with the regional vector and spatialization of the average monthly and annual data with the IDW algorithm. According to the monthly rainfall regimen the *Cluster K-means* algorithm coherently determined four *clusters* in the Una River basin. Regarding the pluviometric lacks, the regional vector method showed good results in the filling of monthly lacks. The double mass curve allowed the perception of consistency of the annual rainfall data. A great variability was observed in the spatialization of the annual total precipitations and of the months considered humid, from which the rainfall decreases in the East-West direction (inversely to the altitude).

**Keywords:** *cluster K-means*, regional Vector, IDW, Zona da Mata, Agreste.

### INTRODUÇÃO

A precipitação é um fator que influencia diretamente as atividades humanas: lazer, agricultura, turismo e consumo próprio. Além disso, tem forte relação com a economia de uma região, visto que, a mesma está fortemente racionada ao setor agropecuário, podendo até trazer prejuízos quando em excesso (Baratto & Wollmann, 2017). Diante disso, torna-se importante estudar os padrões e a predisposição

climática, para entender as causas das mudanças que ocorrem no ambiente ligado diretamente a precipitação, e assim realizar planejamentos urbanos e rurais prevendo possíveis desastres (Correia et al., 2016). Com o conhecimento dessa dinâmica pluvial é possível solucionar problemas relacionados aos eventos extremos da precipitação, para tal, são utilizadas séries temporais de dados de precipitações

(Woldesenbet et al., 2017).

Algo que gera dificuldade no estudo do regime hídrico é a presença de falhas nos registros de dados das séries históricas de precipitação. A ocorrência de falhas se dá geralmente pela ausência do coletor ou por erros e sobreposição de dados dos instrumentos de coleta (Diaz et al., 2018). Como essas falhas acabam comprometendo os dados, é necessário utilizar de métodos estatísticos para preencher a falha e realizar o estudo (Junqueira et al., 2018).

Quando os intervalos de dados são muito grandes, as séries incompletas podem fazer com que o padrão do conjunto de dados seja ocultado e acabam distorcendo a análise de resultados. Por isso, é necessário ser cuidadoso ao lidar com o preenchimento correto das falhas (Campozano et al., 2014). Um método que vem se destacando é o Método do Vetor Regional, que está sendo implementado com rotinas computacionais sem muita dificuldade (Pinto et al., 2017). Esses autores, em pesquisa comparativa entre o método do vetor regional com o método da regressão linear, verificaram que o primeiro, apesar de exigir maior demanda de esforços, apresenta um erro médio com valores mais constantes do que o método da regressão linear.

Para realizar o preenchimento de falhas, podem-se utilizar os dados das estações que são próximas, principalmente aquelas que apresentam clima e altitude semelhante (Bier & Ferraz, 2017). Diante disso, é de extrema importância aplicar técnicas de homogeneização para a delimitação de grupos com características pluviométricas intra e interanuais semelhantes (Woldesenbet et al., 2017).

Em uma análise regional, a identificação e a determinação das regiões homogêneas podem ser consideradas umas das mais difíceis etapas. A região é dita homogênea quando há indícios de que as amostras heterogêneas do grupo têm a mesma distribuição de frequência (Naghetini & Pinto, 2007). A determinação de regiões com o regime pluviométrico semelhante é de extrema importância para o Zoneamento agrícola, estabelecendo as culturas de menor risco e as épocas mais favoráveis para o plantio (Andrada et al., 2018).

Uma técnica estatística utilizada para avaliação de regiões homogêneas é conhecida como *Cluster Analysis* (Análise de Agrupamento). Esta análise faz parte de um conjunto de técnicas estatísticas chamada

Análise Multivariada. Ela realiza agrupamentos de dados que apresentam características semelhantes por meio da minimização da distância euclidiana entre os grupos. Em análises pluviométricas, a técnica de agrupamento utiliza parâmetros hidrológicos para delimitar áreas com zonas climatológicas homogêneas (Shirin & Thomas, 2016). Dentre os algoritmos de *cluster* os mais utilizados para análises de regiões hidrologicamente homogêneas são os algoritmos *Ward* e o *K-means* (Dourado et al., 2013; Shirin & Thomas, 2016; Mattos, 2018; Andrada et al., 2018).

O território brasileiro foi considerado como tendo 25 regiões pluviometricamente homogêneas quanto à distribuição de probabilidades de chuva por Keller Filho et al. (2005). Segundo Dourado et al. (2013), o algoritmo *K-means* foi capaz de gerar *clusters* coerentes com a distribuição temporal no estado da Bahia. Shirin & Thomas (2015) também observaram que para uma boa regionalização é de suma importância saber quantos *clusters* são necessários e saber o quão bom é esse agrupamento. No Agreste Meridional Pernambucano, Andrada et al. (2018), usando o algoritmo *Ward*, foram capazes de delimitar três áreas com pluviometria homogênea.

O estudo da distribuição espacial da chuva pode ser feito por métodos de espacialização. Ele gera superfícies distribuídas de uma determinada variável, partindo de dados pontuais. Esses dados auxiliam no entendimento espacial das características, sem que seja necessário obter dados de toda a área em que se deseja realizar o estudo (Righi & Basso, 2016).

Dentre os modos de espacialização, um dos mais utilizados para espacialização de dados pluviométricos é o de interpolação pelo inverso da distância ponderada (IDW) (Araújo et al., 2015; Righi & Basso, 2016; Oliveira et al., 2017). Utilizando análise de dados estatísticos (ERM, RMSE e dr), Araújo et al. (2015) obtiveram os menores erros, melhor acurácia e menores graus de afastamento do valor real pela interpolação com o IDW utilizando fator de peso 2.

Nesse contexto, a Bacia Hidrográfica do Rio Una detém de um regime pluviométrico diversificado. Graças a sua extensão ela está inserida em duas mesorregiões Pernambucanas (Zona da Mata e Agreste) que apresentam padrões climáticos distintos. Segundo Muniz et

al. (2014) a área litorânea, Zona da Mata, tem clima quente e úmido, com totais anuais de precipitação mais elevados, já a região do Agreste é uma área intermediária entre a Zona da Mata e o Sertão, apresentando similaridade com as duas mesorregiões.

Em relação a pluviometria dessas mesorregiões, Alcântara et al. (2019), na análise de diferentes modelos probabilísticos para chuvas intensas nas mesorregiões pernambucanas, verificaram que as precipitações extremas anuais apresentaram maiores valores na Zona da Mata do que no Agreste. O que torna de funda-

mental importância a gestão dos recursos hídricos de uma bacia tão diversificada como a do rio Una.

Por tudo isso, essa pesquisa visa analisar o comportamento pluviométrico espaço-temporal na Bacia Hidrográfica do Rio Una, por meio de uma análise de homogeneidade pelo algoritmo *K-means*, preenchimento de falhas com o vetor regional e espacialização dos dados médios mensais com o algoritmo do *IDW*, no intuito de dar uma base de informações pluviométricas de maior confiança para minimizar os problemas causados pelos eventos extremos nessa região.

## MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS

### Área de Estudo

A área de estudo corresponde a Bacia do Hidrográfica do Rio Una (Figura 1), localizada no território pernambucano, possui área total de 6.740 km<sup>2</sup>. Ela abrange 42 municípios, dos quais 11 estão totalmente inseridos na mesma - Belém de Maria, Catende, Cupira, Ibirajuba, Jaqueira, Lagoa dos Gatos, Marañal, Palmares, Pannels, São Benedito do Sul e Xexéu (PERH, 1998).

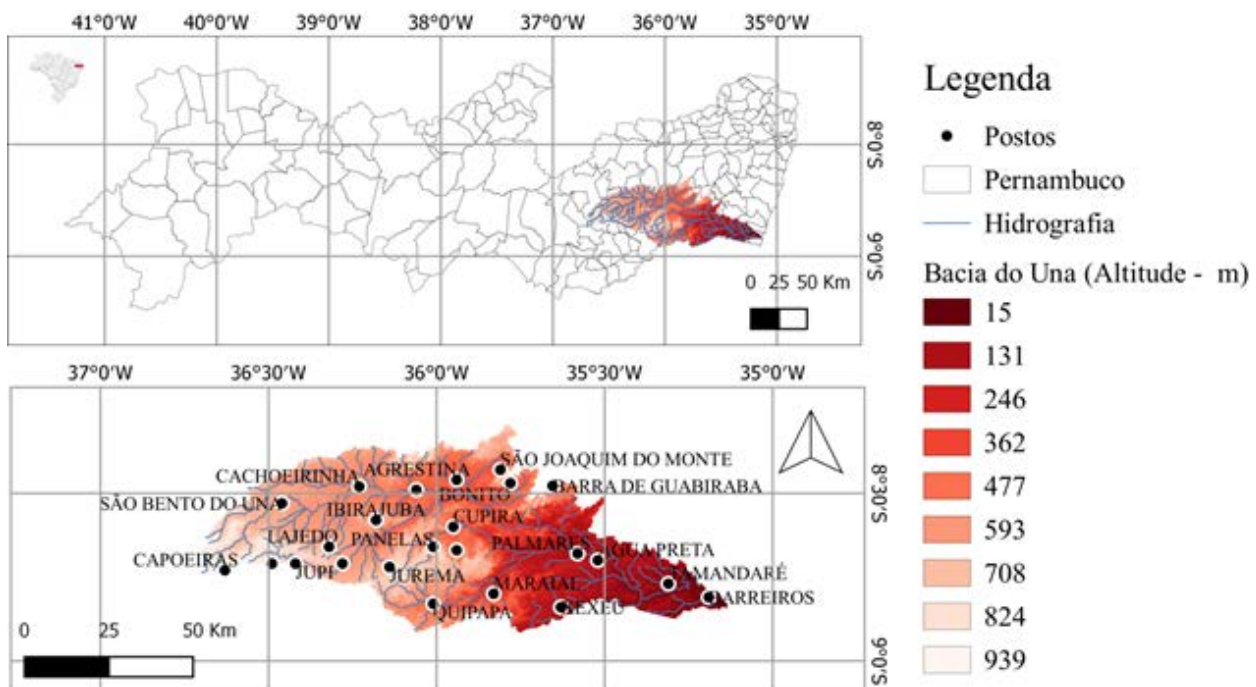
### Aquisição dos Dados Pluviométricos

Foi realizado o estudo pluviométrico a partir de dados obtidos da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2018), oriundos dos 24 postos localizados na Bacia do Rio Una (Figura 1).

Realizou-se uma análise com séries históricas de precipitação pluviométrica mensal com dados entre os anos de 1993 e 2017.

### Análise Cluster

Para o agrupamento dos postos pluviométricos em zonas homogêneas, foi utilizado o algoritmo de Clusterização *K-means* com o software *Past 3.0*. Esse método tem como objetivo minimizar a variabilidade intra-cluster e maximizar a variabilidade entre os clusters, a partir de uma seleção inicial de *K-cluster*. A similaridade entre objetos é medida pela distância Euclidiana entre dois postos, na qual quanto menor for a distância entre eles, maior será a similaridade entre eles.



**Figura 1** – Mapa de localização da Bacia do Una em Pernambuco, e a localização dos postos pluviométricos utilizados.

Como argumento de entrada foi utilizado vetores contendo o comportamento médio mensal de cada posto pluviométrico, com o intuito de agrupar os postos com o comportamento

pluviométrico de maior semelhança (Dourado et al., 2013). Foram testados valores para o número de *clusters* entre 2 e 5 para definição do número de zonas homogêneas mais condizente com a

realidade dos dados, por fim foram escolhidas 4 zonas homogêneas como as mais condizentes com a realidade da região.

### Preenchimento de Falhas

Para o preenchimento de falhas foi utilizada a metodologia do Vetor Regional (Hiez, 1977), que consiste em uma série cronológica sintética de índices pluviométricos mensal ou anual, oriundos da extração da informação mais provável contida nos dados de um conjunto de estações de observação, agrupadas em uma região homogênea.

Segundo Bertoni & Tucci (2009), o método consiste em determinar dois vetores ótimos (L e C), cujo produto resulta em uma matriz de precipitação distribuída espacialmente e temporalmente. O vetor L é um vetor coluna denominado vetor regional, ele contém índices únicos para toda a região e variam temporalmente. Já o vetor C, é um vetor linha que representa as características de cada estação. A estimativa da altura precipitada no ano i e posto j resultam em:

$$\hat{p}_{ij} = L_j \cdot C_j \quad (1)$$

Os elementos da matriz L e C são determinados a partir da minimização da função de otimização (FO) dada pela diferença entre os dados observados e os estimados ( $d_{ij}$ ):

$$FO = \sum \sum d_{ij}^2 \quad (2)$$

O desvio médio cometido pela correção de falhas utilizando o método do vetor regional pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$\bar{e}_{ij} = \frac{1}{r} \sum \frac{p_{ij} - \hat{p}_{ij}}{p_{ij}} \quad (3)$$

Sendo  $p_{ij}$  a precipitação real;  $\hat{p}_{ij}$  a precipitação estimada;  $\bar{e}_{ij}$  o desvio médio entre os valores observados e calculados; e r o número de observações no período.

### Espacialização de Dados Pluviométricos

Como ferramenta de espacialização, utilizou-se o software QGIS 3.0.0 para a interpolação das chuvas mensais e anuais. Os mapas foram georreferenciados com o Datum SIRGAS 2000 24s. A interpolação foi feita com o método do inverso do quadrado da distância.

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{W_j}{s_{ij}^2}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{s_{ij}^2}} \quad (4)$$

Onde,  $W_i$  é o valor estimado na célula interpolada;  $W_j$  é o valor do j-ésimo posto de controle;  $s_{ij}$  - distância euclidiana entre o j-ésimo posto de controle e a célula interpolada.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram encontrados quatro grupos homogêneos pela classificação *K-means* com os dados médios de precipitação mensal, inseridos no mapa hipsométrico da Bacia do Una (Figura 2). Observou-se que o *cluster* 1 foi formado por sete estações com altitude variando entre 400 e 800 m. Já o *cluster* 2 apresentou seis estações em altitudes entre 530 e 900 m. O *cluster* 3 foi o menor grupo com apenas 4 estações e altitude média de 450 m.

Por fim, o *cluster* 4, representando a região litorânea de menores altitudes, foi formado por um conjunto de sete postos, os quais estão inseridos em sua maioria na Zona da Mata Sul pernambucana, com exceção do posto da Barra da Guabiraba.

Diante disso, é possível perceber que existe uma grande influência da altitude na delimitação dos *clusters*, visto que os postos de mesmas altitudes foram agrupados no mesmo *cluster*. Terassi & Galdini (2017) também perceberam essa relação orográfica nas quatro regiões homogêneas encontradas para a Bacia do Alto do Iguaçu no Paraná.

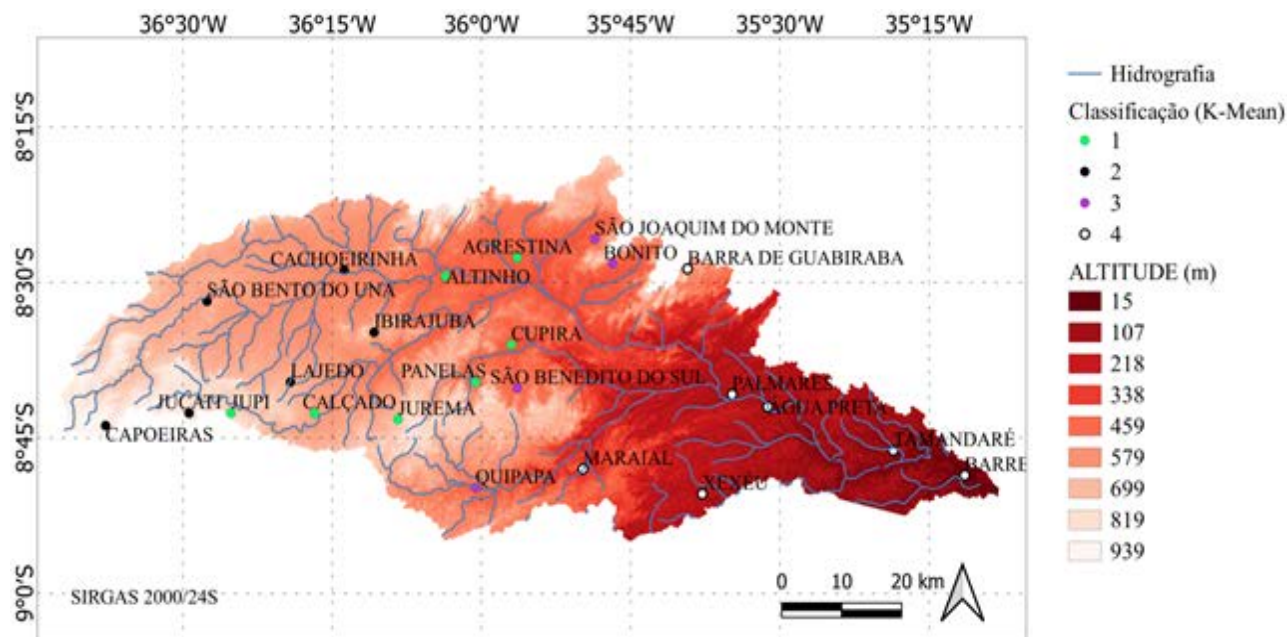
A divisão estabelecida com base nas precipitações médias mensais representou bem a região, já que os postos mais próximos foram agrupados entre si. Agrupamentos com dependência espacial, como os obtidos, foram também determinados por Mattos et al. (2018), que utilizou o método de agrupamento de *Ward* na Bacia Hidrográfica do Paranapanema. Shirin & Thomas (2016), porém, obtiveram agrupamentos, no estado de Karale (Índia), em que a proximidade geográfica nos *clusters* não foi sempre constatada.

Os agrupamentos obtidos também apresentaram relação com o sistema de classificação climática Köppen (Medeiros et al., 2018), onde foi verificado que os *cluster* 1 e 2 apresentaram em sua maioria classificação As (Clima Tropical de Savana), o *cluster* 3 classificação Bsh (Clima Seco e Árido) e o *cluster* 4 deteve uma classificação Am (Clima Tropical de Monções).

Na figura 3 são apresentadas as precipitações médias mensais de cada *cluster* obtido. Os *clusters* apresentaram, em relação as magnitudes

das precipitações, comportamentos distintos entre si, sendo os menores valores apresentados pelos *cluster* 1 e 2, e os maiores nos *cluster* 3 e 4. Além disso, observou-se que o mês de junho apresentou as maiores precipitações mensais

médias para todos os casos, comportamento semelhante ao município de Ipojuca, localizado na Região Metropolitana do Recife (Duarte et al., 2015), como também, ao Agreste Meridional e Setentrional (Rodrigues et al., 2017).



**Figura 2** – Classificação *K-means* dos postos posicionados no mapa hipsométrico da Bacia do Una e sua rede hidrográfica.

Porém, tal comportamento diverge do que foi constatado por Silva et al. (2010) na Bacia do Tapacurá e por Pereira et al. (2017) no Agreste Central, que afirmaram que o mês de julho e março apresentaram a maior precipitação mensal média, respectivamente. Na Bacia Hidrográfica do Rio Una os maiores índices pluviométricos têm duração de seis meses com início no mês de março e prolongando-se até julho ou agosto, além disso, as áreas do Agreste mais próximas do Sertão têm o mês de março como o mês mais chuvoso, enquanto as áreas da região localizadas próxima da Zona da Mata, o mês mais chuvoso é junho (PERNAMBUCO, 2006).

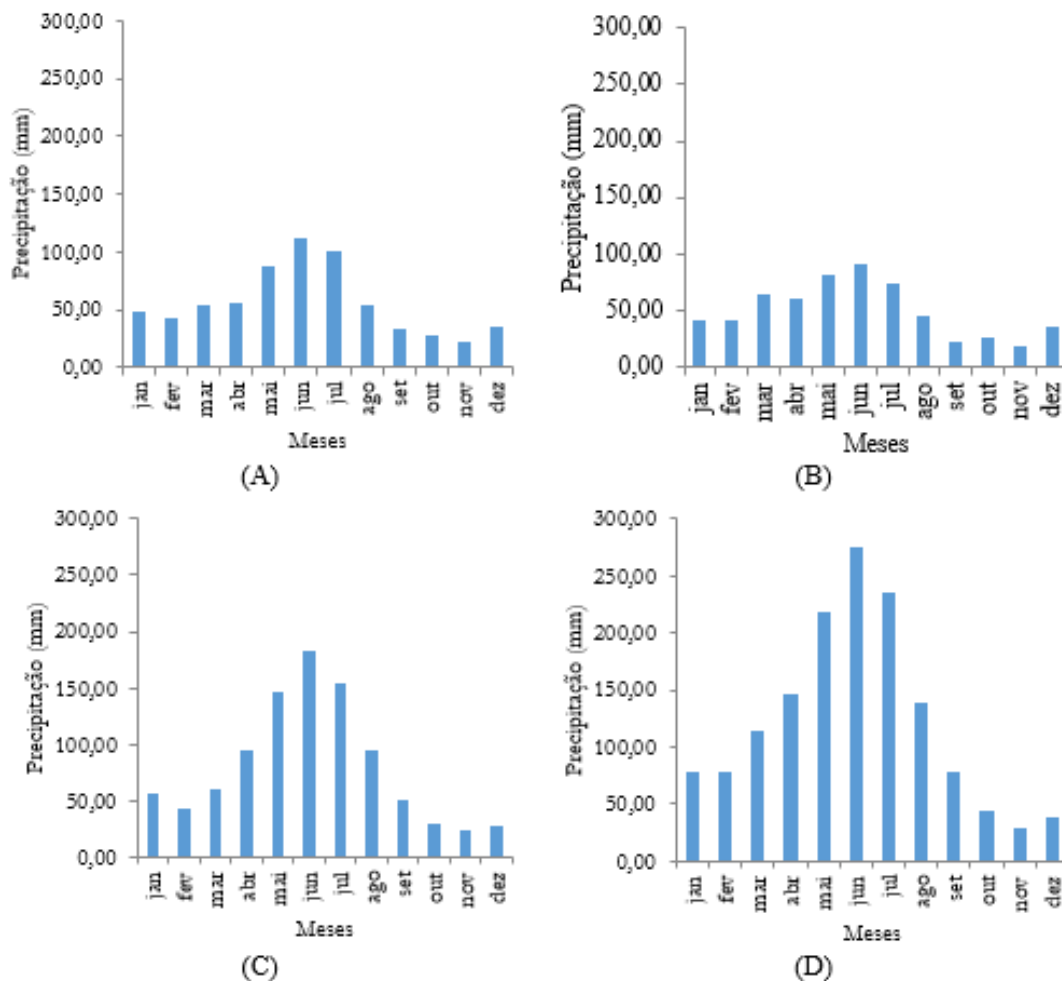
O *clusters* 1 (pertencente a mesorregião do Agreste) foi caracterizado como tendo o seu período úmido de maio a julho com cerca de 45% do total anual, e o seu período seco entre os meses de agosto e abril. Já o *cluster* 2, também da mesorregião do Agreste, 62% da atividade pluviométrica está contida entre os meses de março a julho sendo este o período considerado como úmido, e o período de agosto a fevereiro foi considerado como período seco. Em consonância com esse resultado está o obtido por Silva et al. (2010) na Bacia do Rio Tapacurá, localizada no semiárido pernambucano, onde 60% da precipitação estava concentrada no período de março a julho. Rodrigues et al. (2016)

também constataram que a mesorregião do agreste pernambucano detém de 63% do regime pluviométrico anual nesses meses.

Os *clusters* 3 e 4 apresentaram período úmido entre os meses de abril a agosto, sendo este de 70% e 69% da precipitação total anual, respectivamente, e o período seco compreende os meses de setembro a março.

Ainda nesses *clusters*, 50% das chuvas anuais ocorrem dentro do período úmido no trimestre de maio a julho. Segundo Duarte et al. (2015), os principais sistemas climáticos atuantes na região litorânea do nordeste brasileiro, onde estão inseridos esses dois *clusters*, são os Distúrbios Ondulatórios de Leste ou Ondas de Leste que atuam com maior influência nos períodos úmidos.

O desvio médio para cada *cluster* de postos para cada mês preenchido pode ser observado na tabela 1. Em sua maioria os desvios foram negativos, onde os de maiores magnitudes foram encontrados, para todos os casos, no mês de novembro, destacando o desvio do *cluster* 1 como sendo o maior (-163,30%). No *cluster* 1 o mês de janeiro também apresentou um erro elevado (maior que 15%). No *cluster* 2 também foram encontrados erros maiores que 15% nos meses de janeiro, setembro, novembro e dezembro.



**Figura 3** – Precipitação média mensal de cada *Cluster* agrupada pelo algoritmo *K-means*. Sendo: (A) *cluster 1*; (B) *cluster 2*; (C) *cluster 3*; (D) *cluster 4* (Fonte: Adaptado APAC, 2019).

**Tabela 1** – Desvio Médio calculado em cada *cluster* dos postos da Bacia do Una.

<b>CLUSTER</b>	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>	<b>G4</b>
Janeiro	-27,25%	-30,28%	-9,34%	3,80%
Fevereiro	-2,36%	-3,40%	-3,06%	-2,92%
Março	-4,78%	-11,55%	-1,97%	-1,85%
Abril	-9,47%	-13,49%	1,11%	-0,51%
Mai	-1,33%	-0,68%	-1,41%	-0,56%
Junho	-2,02%	-7,55%	-0,18%	-0,38%
Julho	-2,73%	-3,15%	0,19%	-0,18%
Agosto	-6,67%	-8,05%	-0,77%	-1,18%
Setembro	-11,83%	-19,07%	0,32%	-2,91%
Outubro	-6,61%	2,31%	0,35%	-1,18%
Novembro	-163,30%	-33,98%	-48,78%	-37,34%
Dezembro	-1,39%	-20,36%	-4,54%	-3,30%

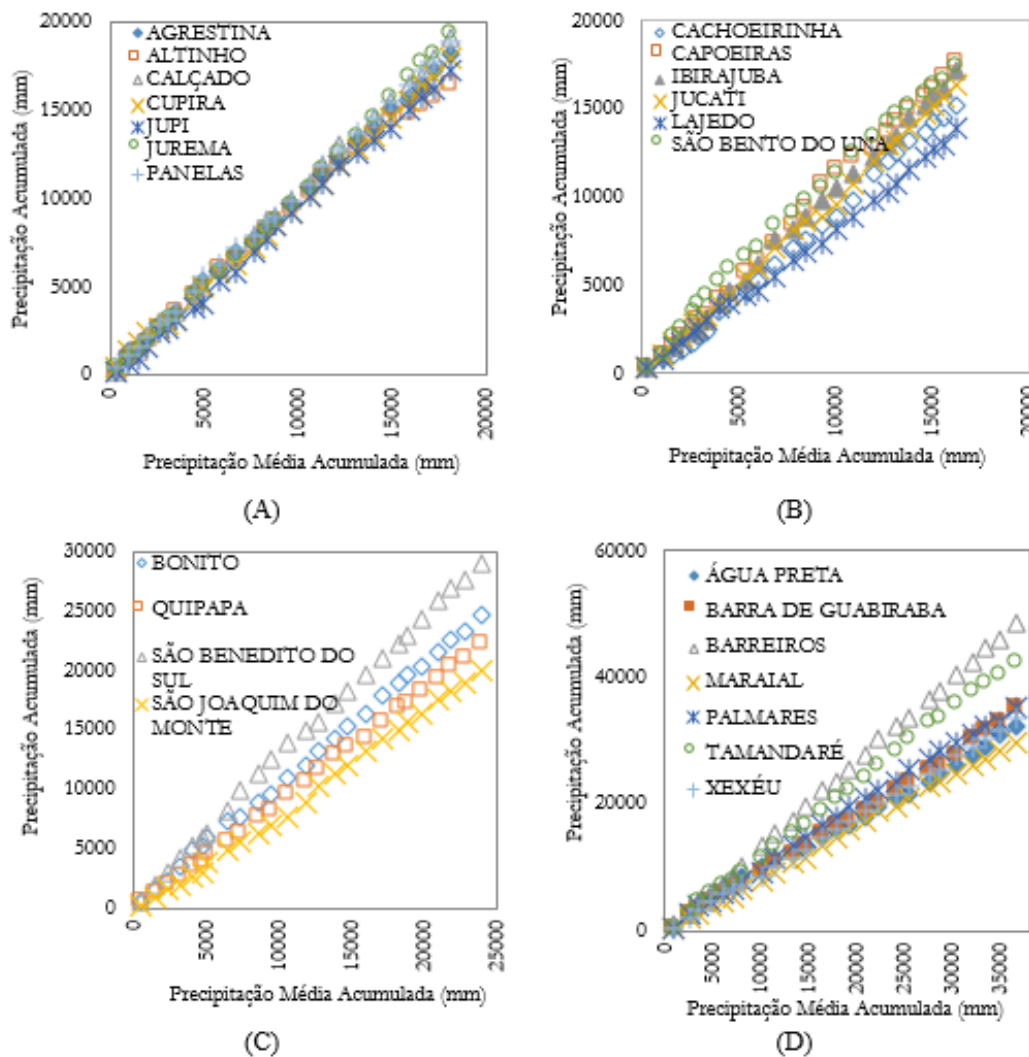
Na figura 4 são apresentados os gráficos dupla massa das regiões homogêneas, cujas abscissas representam a média acumulada dos totais anuais dos *clusters* e ordenadas representam o

acumulado anual de cada posto. Os gráficos apresentaram-se lineares, indicando uma grande consistência nos dados preenchidos. A aproximação da curva dupla massa a uma reta minimiza a possível ocorrência de alterações nas condições de observação, erros sistemáticos ou mudanças nas condições climáticas da região (Sanches et al., 2013), além disso, garante a homogeneidade dos *clusters* formados, comprovando a eficiência da metodologia do *Cluster K-means* em definir regiões hidrologicamente homogêneas. Este fato pode ser comprovado com os coeficientes de determinação apresentados na tabela 2, sendo o menor deles 99,68% em São Bento do Una (*cluster 2*). Coeficientes de determinação nessa magnitude também foram constatados por Correia et al. (2016) na aplicação de redes neurais artificiais no preenchimento de falhas de precipitação mensal na região Serrana do Espírito Santo, como também por Junqueira et

al. (2018) na bacia hidrográfica do Rio das Mortes utilizando diversos métodos de preenchimento de falhas, e por Mello et al. (2016) no município de Joinville (Santa Catarina).

O *cluster* 1 apresentou intensidades pluviométricas anuais bem semelhantes, como pode ser

observado ausência de diferença visual entre os dados na figura 4A. Nas figuras 4 B e C é possível notar que os *clusters* 2 e 3 foram os que apresentaram as menores consistências. Observe também uma maior precipitação acumulada nos dados do *cluster* 4 (Figura 4 D), seguido pelos *clusters* 3, 1 e 2.



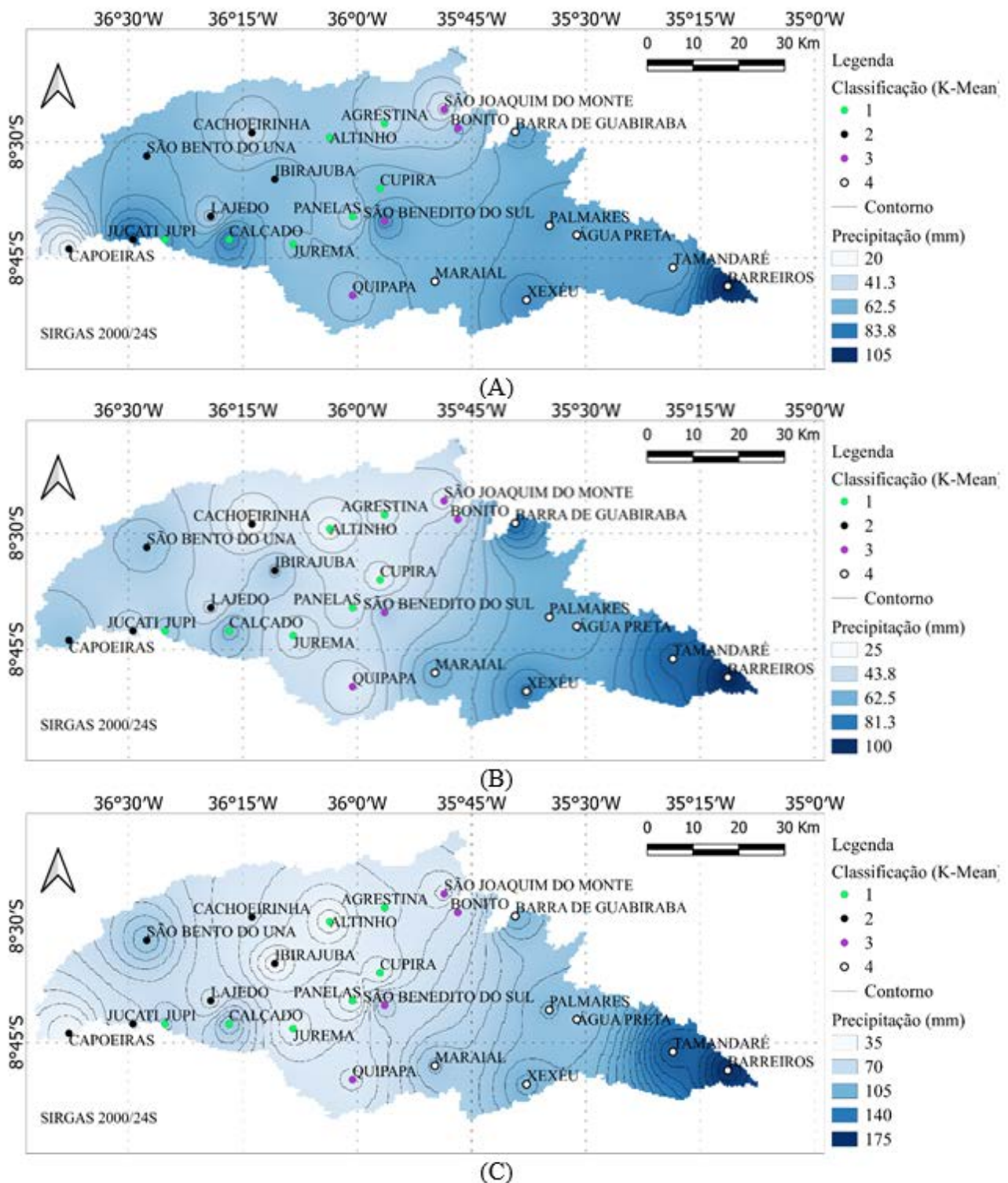
**Figura 4** – Curva dupla massa entre a precipitação média anual acumulada do *cluster* e a precipitação anual acumulada do posto. Sendo: (A) *cluster* 1; (B) *cluster* 2; (C) *cluster* 3; (D) *cluster* 4.

**Tabela 2** – Coeficiente de determinação das curvas de dupla massa dos municípios e seus respectivos agrupamentos.

G1		G2		G3		G4	
Agrestina	99,97%	Cachoeirinha	99,84%	Bonito	99,92%	Água preta	99,72%
Altinho	99,78%	Capoeiras	99,78%	Quipapa	99,95%	Barra de Guabiraba	99,90%
Calçado	99,95%	Ibirajuba	99,91%	São Benedito do sul	99,86%	Barreiros	99,96%
Cupira	99,88%	Jucati	99,89%	São Joaquim do monte	99,84%	Maraial	99,96%
Jupi	99,89%	Lajedo	99,72%			Palmares	99,89%
Jurema	99,90%	São Bento do Una	99,68%			Tamandaré	99,95%
Panelas	99,96%					Xexéu	99,95%

Na figura 5 são apresentadas as espacializações das precipitações médias mensais e anuais obtidas após o preenchimento de falhas. No período de fevereiro a setembro, as maiores precipitações pertenceram aos membros

do *cluster* 4, sendo as maiores dentre estes em Barreiros. No entanto, de outubro a janeiro, a precipitação mensal, está com menor variabilidade espacial, com apenas alguns pontos de destaque.



**Figura 5** – Parte 1: Distribuição da Precipitação média mensal e anual na Bacia do Una. Sendo: (A) Janeiro; (B) Fevereiro; (C) Março.

Assim como constatado na Bacia do Rio Tapacurá (Agreste Pernambuco) por Silva et al. (2010) e no Sul baiano por Oliveira et al. (2017), as precipitações totais anuais e os meses

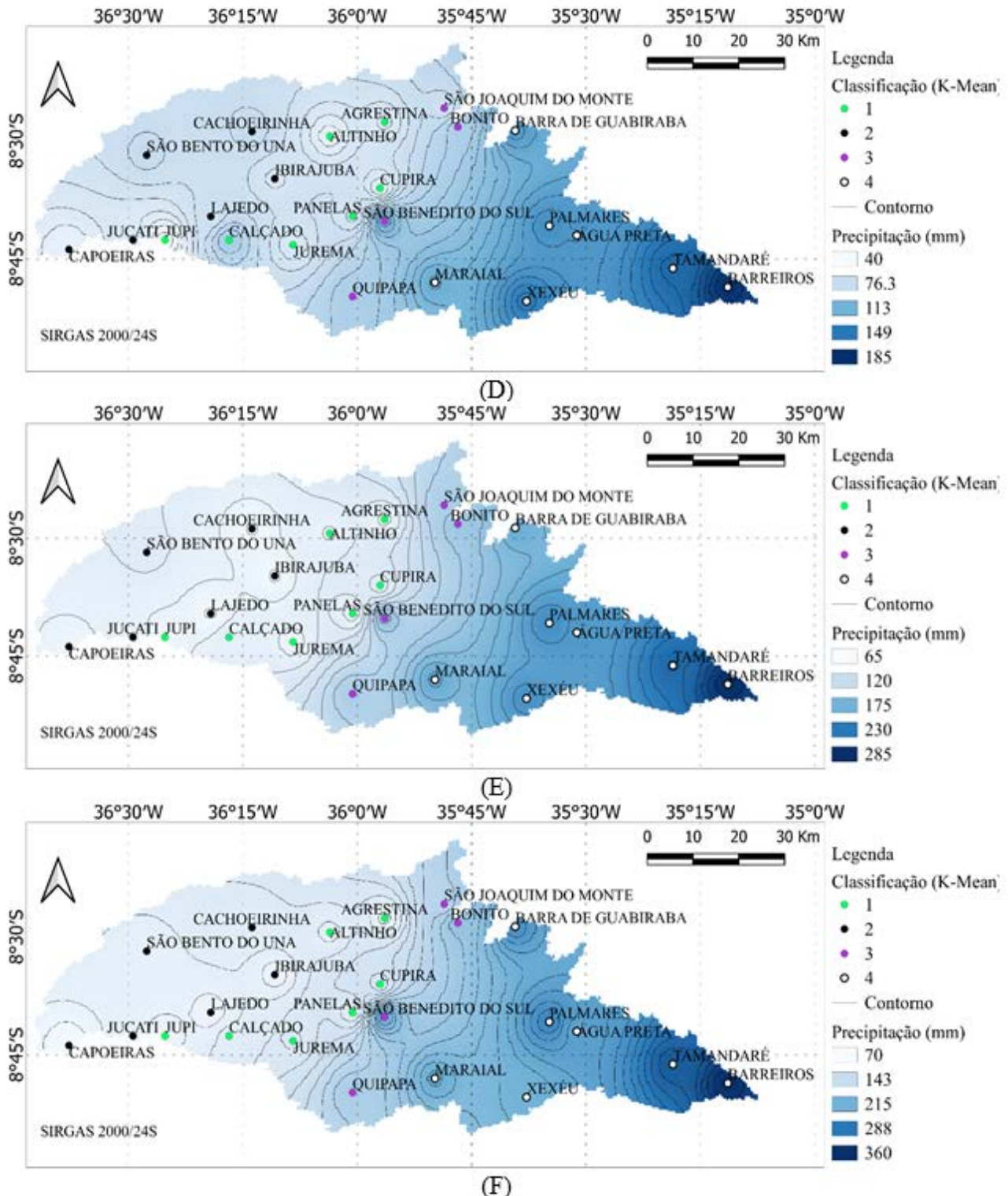
considerados úmidos têm a magnitude pluviométrica decrescente na direção Leste-Oeste. Santos et al. (2014) verificaram que no período de 1963 a 2012 o município de Barreiros,



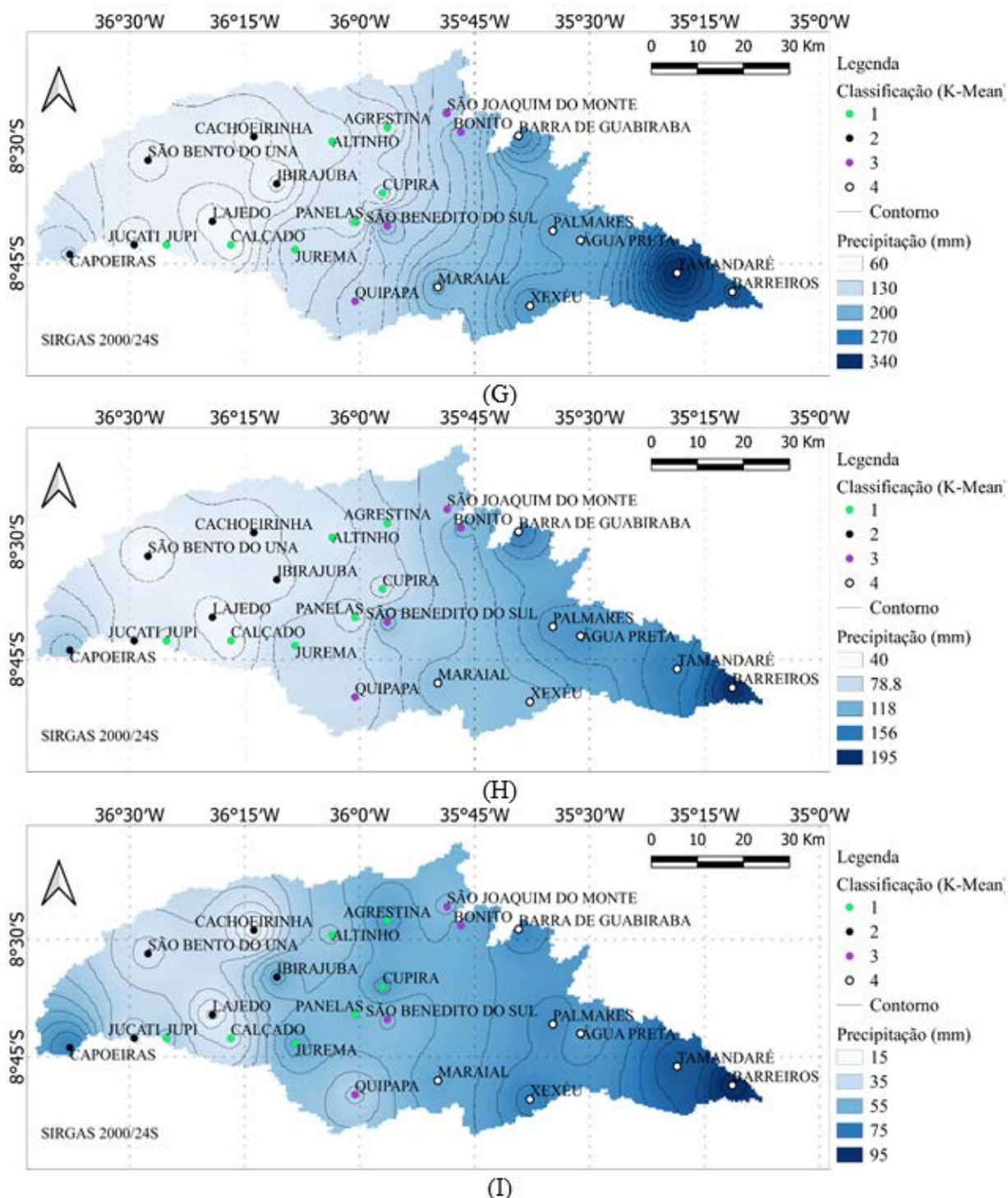
extremo leste da bacia do Una, apresentou um número de dias com chuvas intensas maiores. Os autores destacam a importância dessa e de outras constatações devido a sujeição a períodos de enchentes na Bacia do Una decorrentes da ocupação irregular e mal uso do solo. No entanto, Santos et al. (2013) afirmam que existe decaimento da precipitação total anual e dos dias consecutivos úmidos, e aumento dos dias

consecutivos secos no estado de Pernambuco.

Nos meses úmidos foi possível notar o aumento da precipitação com a diminuição da altitude, diferente do que ocorre na Bacia do Riacho do Saco (Sertão Central Pernambucano) onde foi constatando os maiores índices pluviométricos nas áreas de maior elevação e consequentemente os menores índices próximos à depressão sertaneja (Souza et al., 2015).



**Figura 6** – Parte 2: Distribuição da Precipitação média mensal e anual na Bacia do Una. Sendo: (D) Abril; (E) Maio; (F) Junho.

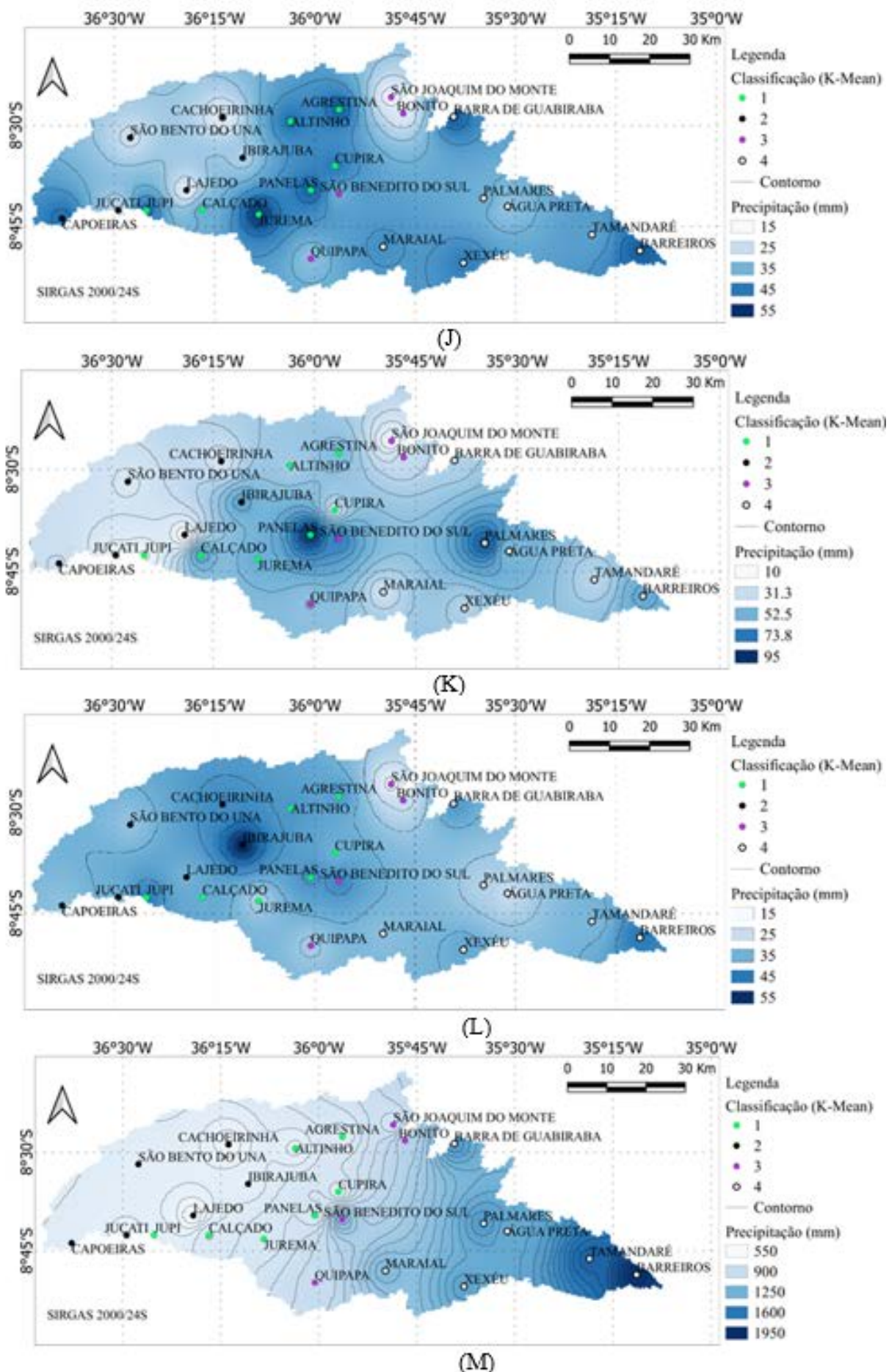


**Figura 7** – Parte 3: Distribuição da Precipitação média mensal e anual na Bacia do Una. Sendo: (G) Julho; (H) Agosto; (I) Setembro.

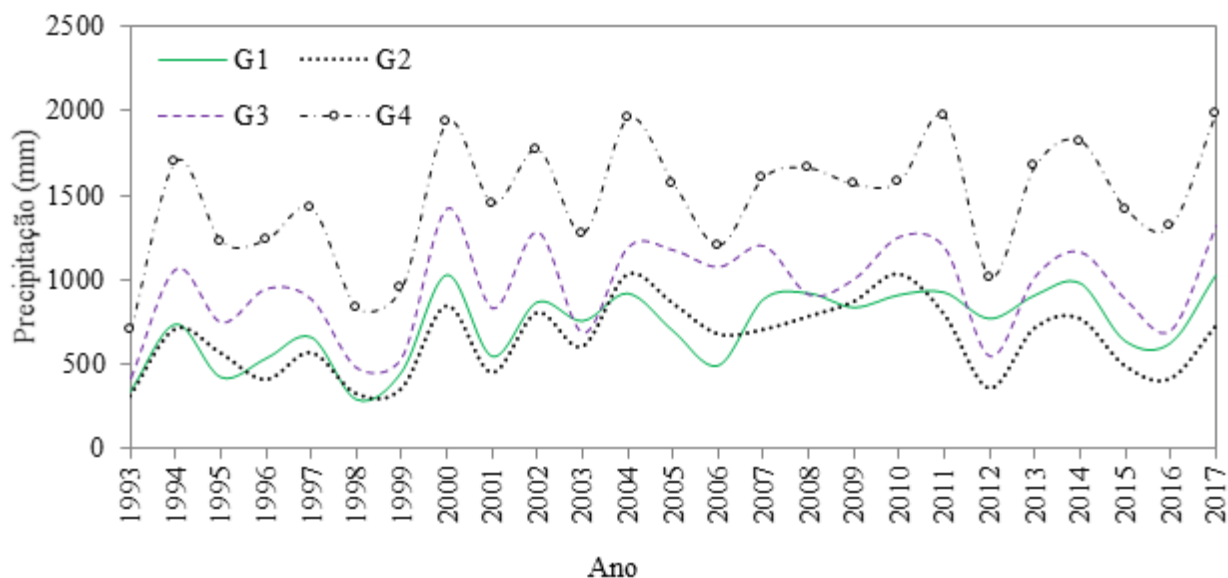
A distribuição da precipitação anual média de cada *cluster* da Bacia do Una é apresentada na figura 6. Todos os *clusters* apresentaram regimes pluviométricos interanuais semelhantes, diferindo entre si pela magnitude.

Podem-se perceber menores precipitações antes do ano de 2000, esse fato se deu pela predominância de anos secos devido aos eventos do El Niño em conjunto com a fase positiva do Dipolo Atlântico (Duarte et al., 2015). As menores precipitações foram evidenciadas no

ano de 1998, Segundo Pereira et al. (2017), o El Niño foi o principal responsável pela redução considerável da precipitação neste ano. Os eventos com maiores precipitações ocorreram em 2000, 2004 e 2011. Dentre eles apenas o ano de 2000 estava sob a influência de um evento de La Niña; os demais anos estavam sob a influência de El Niño fraco (Duarte et al., 2015). Segundo Andrada et al. (2018), a baixa precipitação registrada nos anos seguintes a esses é explicada pela ocorrência do El Niño.



**Figura 8** – Parte 4: Distribuição da Precipitação média mensal e anual na Bacia do Una. Sendo: (J) Outubro; (K) Novembro; (L) Dezembro; (M) Anual.



**Figura 9** – Precipitação Anual média de cada *cluster* da Bacia do Rio Una.

## CONCLUSÕES

O algoritmo *Cluster K-means*, para a realização de agrupamentos homogêneos, determinou de forma coerente quatro *clusters* na Bacia hidrográfica do Rio Una de acordo com o regime pluviométrico mensal de forma eficiente. Os *clusters* 1 e 2 ficaram localizados majoritariamente na mesorregião do Agreste apresentando precipitações mensais com menor magnitude.

Os *clusters* 3 e 4 apresentaram as maiores magnitudes de chuva mensal, com metade das precipitações totais anuais concentradas no trimestre de maio a julho.

No preenchimento de falhas pluviométricas, o método do vetor regional demonstrou bons resultados no preenchimento de falhas mensais, de modo que apenas no mês de novembro foram

encontrados desvios médios com maiores magnitudes. Apesar disso, com a curva de dupla massa, foi possível perceber consistência dos dados pluviométricos anuais, e, além disso, foi comprovada a eficiência do método para agrupamentos homogêneos *K-means*.

Na espacialização foi constatada uma grande variabilidade nas precipitações totais anuais e nos meses considerados úmidos, dos quais detêm a magnitude pluviométrica decrescente na direção Leste-Oeste (inversamente a altitude). Os *clusters* apresentaram regimes pluviométricos interanuais semelhantes, diferindo entre si pela magnitude. Foi constatado também grande influência dos fenômenos El Niño, La Niña e Dipolo Atlântico nos anos de baixos e altos regimes pluviométricos.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo N° 465764/20142, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), processo N° 88887.136369/2017-00 e da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), processo: APQ-0498-3.07/17, por meio do projeto “Observatório Nacional da Dinâmica da Água e de Carbono no Bioma Caatinga (ONDACBC)”.

## REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, L.R.P.; MARTINS, L.A.; COSTA, I.R.A.; BARROS, V.H.O. SANTOS NETO, S.M.; COUTINHO, A.P.; ANTONINO, A.C.D. Avaliação de modelos probabilísticos para chuvas intensas nas mesorregiões do estado de Pernambuco. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 04, n. 01, p. 090-103, 2019.
- ANDRADA, E.K.P.; ANDRADE, A.R.S.; ZAMORA, V.R.O.; SILVA, P.R.L.; SANTOS, M.K.S. Periodicidades na distribuição homogênea da precipitação no Agreste de Pernambuco. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 3, n. 1, p.100-300, 2018.
- APAC - Agência Pernambucana de Águas e Climas. **Monitoramento Pluviométrico**. Recife. Disp. em: <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio>>. Acesso em: 20 Fev. 2018.
- ARAUJO, F.C.; MELLO, E.L.; DA SILVA, B.B.; MERCANTE, E., GOLIN, G.M. Comparação de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Piquiri (PR). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2015. Curitiba. *Anais...Curitiba*: INPE, p. 5485-5490

- BARATTO, J. & WOLLMANN, C.A. Espacialização da precipitação pluviométrica total anual da bacia hidrográfica do alto Jacuí-RS. **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, v. 17, p. 7418-7430, 2017.
- BERTONI, J.C. & TUCCI, C.E.M. **Precipitação**. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). Hidrologia Ciência e Aplicação. 2ª. ed. Porto Alegre: Universidade/UFRGS: ABRH, 1993. cap. 5, p. 177-231.
- BIER, A.A & FERRAZ, S.E.T. Comparação de Metodologias de Preenchimento de Falhas em Dados Meteorológicos para Estações no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 215-226, 2017.
- CAMPOZANO, E.S.; SÁNCHEZ, A.; AVILES, A.; SAMANIEGO, E. Evaluating of infilling methods for time series of daily precipitation and temperature: the case of the ecuadorian Andes. **MASKANA**, v. 5, n. 1, p. 99-115, 2014.
- CORREIA, T. P.; DOHLER, R. E; DAMBROZ, C. S.; BINOTI, H. B. Aplicação de redes neurais artificiais no preenchimento de falhas de precipitação mensal na região serrana do Espírito Santo. **Geociências**, v. 35, n. 4, p.560-567, 2016.
- DIAZ, C.C.F.; PEREIRA, J.A.S.; NOBREGA, R.S. Comparação de dados estimados pelo método da ponderação regional (PR) e dados estimados pelo TRMM para o preenchimento de falhas de precipitação na bacia hidrográfica do rio Pajeú. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p.324-339, 2018.
- DOURADO, C.S.; OLIVEIRA, S.R.M.; AVILA, A.M.H. Análise de zonas homogêneas em séries temporais de precipitação no Estado da Bahia. **Bragantia**, v. 72, n. 2, p.192-198, jun. 2013.
- DUARTE, C.C.; NÓBREGA, R.S.; COUTINHO, R.Q. Análise climatológica e dos eventos extremos de chuva no município do Ipojuca, Pernambuco. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 32, n. 2, p. 158-176, 2015.
- HIEZ, G.L. Homogénéité des données pluviométriques. Cahiers ORSTOM. **Série Hydologie**, v. 14, n. 2, p. 129-172.
- JUNQUEIRA, R.; AMORIM, J.S.; OLIVEIRA, A.S. Comparação entre diferentes metodologias para preenchimento de falhas em dados pluviométricos. **Periódico da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 2, p. 198-210, 2018.
- KELLER FILHO, T.; ASSAD, E.D.; LIMA, P.R. S.R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 40, n. 4, p. 311-322, 2005.
- MATTOS, F.I.; SORRIBAS, M.V.; ZAHN, E., GONÇALVES, J.E. Identificação de grupos regionais de chuva por análise de agrupamentos. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, v. 28, 2018. [https://www.ina.gob.ar/congreso\\_hidraulica/resumenes/LADH\\_I\\_2018\\_RE\\_203.pdf](https://www.ina.gob.ar/congreso_hidraulica/resumenes/LADH_I_2018_RE_203.pdf),
- MEDEIROS, R.M.; HOLANDA, R.M.; VIANA, M.A.; SILVA, V.P. Climate classification in Köppen model for the state of Pernambuco – Brazil. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 35, n. 3, p. 219-234, 2018.
- MELLO, Y.R.; KOHLS, W.; OLIVEIRA, T.M.N. Uso de diferentes métodos para o preenchimento de falhas em estações pluviométricas. **Boletim de geografia**, v. 35, n. 1, p. 112-121, 2017.
- MUNIZ, S.; ASSIS, J.M.O.; SOUZA, W.M. Tendências de Mudanças Climáticas na Bacia do Rio Una, Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física (UFPE)**, v. 7, n. 2, p. 243-257, 2014.
- NAGHETTINI, M. & PINTO, E.J. A. **Hidrologia Estatística**. CPRM. 2007.
- OLIVEIRA, W.P.; SILVA, M.A.V.; SOUZA, S.A.; SANTANA, C.C.; OLIVEIRA JUNIOR, A.R.O. Caracterização da variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica do Centro Sul Baiano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1143-1151, 2017.
- PEREIRA, M.L.T.; SOARES, M.P.A.; SILVA, E.A.; MONTENEGRO, A.A.A.; SOUZA, W.M. Variabilidade climática no agreste de Pernambuco e os desastres decorrentes dos extremos climáticos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, 394-402, 2017.
- PERH. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Recife, 1998. Secretaria de Infraestrutura de Pernambuco. Disp. em: <[http://www.srhe.pe.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=458:perh-plano-estadual-de-recursos-hidricos-1998&catid=42:documentos&Itemid=75](http://www.srhe.pe.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=458:perh-plano-estadual-de-recursos-hidricos-1998&catid=42:documentos&Itemid=75)>. Acesso em: 17mar2019.
- PERNAMBUCO. **Bacia Hidrográfica do Rio Una, GL 4 E GL 5: série bacias hidrográficas de Pernambuco nº 3**. Recife: Condepe/fidem, 2006. 85 p.
- PINTO, A.A.; FERREIRA, I.R.D.; STUDART, T.M.C.; LUNA, R.M. **Metodologias de preenchimento de falhas de séries pluviométricas anuais: Comparativo entre o método do Vetor Regional e a Regressão Linear Simples**. Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos. Disp. em: <https://evolvedoc.com.br/xxiisbrh/download-2017-UEFQMDIymTE3LnBkZg>, 2017. Acesso em: 20mar2018.
- RIGHI, E. & BASSO, L.A. Aplicação e análise de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas. **Ambiência Guarapuava**, v. 12, n. 1, p. 101-117, 2016.
- RODRIGUES, L.O.; SOUZA, W.M.; COSTA, V.S.O.; PEREIRA, M.L.T. Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1995-2009, 2017.
- SANCHES, F.O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Estudo de tendência de chuvas de longo prazo. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n. 3, p. 214-228, 2019.
- SANTOS, P.V., SANTOS, R.; COUTINHO, M.D.L. Detecção de Mudanças Climáticas Através de Índices Pluviométricos Diários no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, n. 6, n. 4, p. 713-731, 2013.
- SANTOS, S.M.S.; ASSIS, J.M.O.; SOUZA, W.M. Tendências de Mudanças Climáticas na Bacia do Rio Una, Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 2, p. 243-257, 2014.
- SHIRIN, S.A.H. & THOMAS, R. Regionalization of Rainfall in Kerala State. **Procedia Technology**, v. 24, p.15-22, 2016
- SILVA, R.M.; PEREIRA E SILVA, L.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SANTOS, C.A.G. Análise da variabilidade espaço-temporal e identificação do padrão da Precipitação na Bacia Do Rio Tapacurá, Pernambuco. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 2, p. 357-372, 2010.
- SOUZA, J.O.P.; ALMEIDA, J.D.M.; CORREA, A.C.B. Caracterização e espacialização da precipitação em bacia hidrográfica com relevo complexo: sertão central Pernambucano – Bacia do Riacho do Saco. **Revista de Geografia**, v. 32, n.2, p. 106-126, 2015.
- TERASSI, P.M B. & GALDINI, E. Identification of Homogeneous Rainfall Regions in the Eastern Watersheds of the State of Paraná, Brazil. **Climate**, v. 5, n. 53, p. 1-13, 2017.
- WOLDESENBET, T.A.; ELAGIB, N.A., HEINRICH, J. Gap filling and homogenization of climatological datasets in the headwater region of the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 4, p. 2122-2140, 2016.

Submetido em 3 de julho de 2019

Aceito para publicação em 11 de agosto de 2020