



ISSN: 2525-815X

# Journal of Environmental Analysis and Progress

Journal homepage: [www.jeap.ufrpe.br/](http://www.jeap.ufrpe.br/)

10.24221/jeap.3.1.2018.1667.100-117



## Periodicidades na distribuição homogênea da precipitação no Agreste de Pernambuco

### Periodicities in similar rainfall distributions in the Agreste of Pernambuco

Emylle Kerolayne Palmeira de Andrada<sup>a</sup>, Antonio Ricardo Santos de Andrade<sup>b</sup>, Valentin Rúben Orcón Zamora<sup>b</sup>, Palloma Rayza Lopes de Aquino Silva<sup>b</sup>, Marília Karine Silva Santos<sup>b</sup>, Pâmela Rodrigues Azevedo<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns-AESGA, Av. Caruaru, Heliópolis, Garanhuns, Pernambuco, Brasil. CEP: 55.290-00. E-mail: [emylle@gmail.com](mailto:emylle@gmail.com).

<sup>b</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Unidade Acadêmica de Garanhuns-UAG, Avenida Bom Pastor, s/n, Boa Vista, Garanhuns-PE. CEP: 55.296-901. E-mail: [arsauag@uag.ufrpe.br](mailto:arsauag@uag.ufrpe.br); [pallomarayza@gmail.com](mailto:pallomarayza@gmail.com); [karinemk65@hotmail.com](mailto:karinemk65@hotmail.com); [pamelar.azevedo@hotmail.com](mailto:pamelar.azevedo@hotmail.com), [vorcon2871@gmail.com](mailto:vorcon2871@gmail.com).

#### ARTICLE INFO

Recebido 24 Out 2017

Aceito 30 Jan 2018

Publicado 30 Jan 2018

#### ABSTRACT

Since rainfall is a fundamental climatic element because it has a direct influence on agricultural production and because it is a periodic phenomenon, it can be described using harmonic analysis. The objective of this work was to apply the Fourier series harmonic analysis technique for the identification of cyclical components of annual mean precipitation variations of 71 meteorological stations distributed in six mesoregions of Agreste region of Pernambuco in Northeast Brazil. The technique of cluster analysis was applied in the identification of homogeneous regions regarding the rainfall distribution for these same meteorological stations and contributes to studies of climatic risks in agriculture. A historical series of data of 33 years, corresponding to the period of 1984 to May of 2017, of the average annual precipitation of several meteorological stations in the six mesoregions of the Agreste region of Pernambuco, consisted by the union of 71 municipalities, yielded by the Agronomic Institute (IPA) and by the Superintendence of Development of the Northeast (SUDENE). The results indicated a proper performance of the complete model consisting of three sine waves as a diagnosis of the average annual precipitation, considering the climatic characteristics of the region. The harmonics were: 16.5 years with 12% of representatively, 4.71 and 2.75 years with 12% and 25%, respectively, where the sum of the three waves explains 49% of the total rainfall variation over of the 33 years of Agreste region of Pernambuco. The hierarchical grouping analysis allowed to identify three similar pluviometrical areas, located in six microregions representative of the climatic diversity of the territory of the Agreste Southern region of Pernambuco.

**Keywords:** Rain, forecast, harmonic analysis, cluster analysis.

#### RESUMO

Sendo a precipitação pluvial um elemento climático fundamental por ter influência direta na produção agrícola, e por ser um fenômeno periódico, pode ser descrito por meio da análise harmônica. O objetivo deste trabalho foi aplicar a técnica da análise harmônica por séries de Fourier para a identificação de componentes cíclicas das variações anuais das precipitações médias de 71 postos meteorológicos distribuídas em seis mesorregiões do Agreste Pernambucano do Nordeste do Brasil. Em seguida, foi aplicada a técnica de análise de agrupamentos na identificação de regiões homogêneas quanto à distribuição pluviométrica para esses mesmos postos meteorológicos e contribuir para estudos de riscos climáticos na agricultura. Para isso, foi avaliada uma série histórica de dados de 33 anos correspondentes ao período de 1984 a maio de 2017, da precipitação média anual de várias estações meteorológicas localizadas nas seis mesorregiões do Agreste Pernambucano,

formada pela união de 71 municípios, cedidas pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) e pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Os resultados indicaram um bom desempenho do modelo completo constituído por três ondas senoidais como diagnóstico das precipitações médias anuais, tendo-se em conta as características climáticas da região. Destacaram-se os harmônicos: de 16,5 anos com 12% de representatividade, 4,71 e 2,75 anos com 12% e 25%, respectivamente, onde a soma das três ondas explica 49% da variação total das chuvas ao longo dos 33 anos do Agreste Pernambucano. A análise hierárquica de agrupamento permitiu identificar três áreas pluviometricamente homogêneas, localizadas em seis microrregiões representativas da diversidade climática do território do Agreste Meridional Pernambucano.

**Palavras-Chave:** Chuva, previsão, análise harmônica, análise de agrupamento.

## Introdução

Considerando os componentes climáticos, a precipitação pluvial é uma variável meteorológica muito importante para as diversas atividades humanas, especialmente a agricultura devido a seu caráter aleatório, aumentando os riscos na programação da agricultura, e para a maioria dos trabalhadores sobre previsão climática estabelece essa variável como meta. Segundo Andrade et al. (1997), citados por Dantas Neto et al. (2005), as chuvas vêm sendo objeto de muita preocupação e pesquisas nas áreas agrícolas do Nordeste do Brasil (NEB), onde representa um papel muito importante na economia na região. Na agricultura de sequeiro, a precipitação pluvial constitui o parâmetro meteorológico de maior importância na produção agrícola e sua alta variabilidade no tempo e no espaço provoca, invariavelmente, incertezas na colheita, particularmente em regiões de clima semiárido. Portanto, o estabelecimento de modelos para estimativa dessa variável tem elevada importância prática.

A precipitação apesar de sua alta variabilidade espaço-temporal verifica-se um padrão nas mesorregiões do Agreste Pernambucano, ocorrendo períodos bem distintos, um seco e outro chuvoso. A verificação da distribuição irregular das chuvas no NEB tem motivado estudos nesse campo a desenvolverem modelos para sua previsão, com o intuito de reduzir os riscos de estimativas devido às flutuações climáticas em razão dos sistemas atmosféricos (Dantas Neto et al., 2005). Apesar dos sistemas atmosféricos que influenciam na precipitação no NEB podem ser classificados em sistemas de grande escala, responsáveis por cerca de 30% a 80% da precipitação observada dependendo do local, e mecanismos de meso e microescalas, que completam os totais observados. Dentre os mecanismos de grande escala, destacam-se os sistemas frontais e a zona de convergência intertropical (ZCIT). Perturbações ondulatórias no campo dos ventos Alísios, complexos convectivos e brisas marítima e terrestre fazem parte da meso

escala, enquanto circulações orográficas e pequenas células convectivas constituem-se fenômenos da microescala. (Molion & Bernardo, 2002). Cada sub-região do NEB é influenciada por combinações de alguns desses mecanismos físicos.

As mesorregiões do agreste pernambucano apresentam, em sua série histórica, uma precipitação que propicia o cultivo de várias espécies vegetais de ciclo curtos e perenes, incluindo algumas exigentes em grandes quantidades hídricas. Entretanto nos últimos anos as estações chuvosas irregulares, apresentando baixa precipitação média anual e, portanto, caracterizando sucessões de anos considerados secos tem comprometido a capacidade produtiva da região. Além disso, os anos secos resultam em baixas nos reservatórios hídricos que disponibilizam água para a região. O Agreste pernambucano é uma região produtora de diversas culturas, que abastecem inúmeras partes do Estado de Pernambuco com frutas, verduras, legumes, hortaliças e também bebidas como a cachaça, e através disso movimentam uma grande parte da economia regional e nacional. Portanto, a precipitação pluviométrica das microrregiões, tornam-se fatores limitantes ao bom desenvolvimento das culturas (Molion & Bernardo, 2002; Silva, 2013).

Uma série temporal é um conjunto de observações ordenadas em intervalos de tempo, comumente iguais. Essas observações apresentam dependência serial e constituem um dos objetivos do estudo de séries temporais, analisar e modelar essa dependência (Maria et al., 2008). As precipitações pluviais ocorrem de forma periódica e compõe um dos fatores mais importante na produção agrícola, e na determinação a adequação dos suprimentos alimentícios, exercendo influência sobre todos os estágios da produção agrícola, desde a preparação do solo até a colheita, armazenamento, transporte e comercialização das sofras (Costa et al., 2015).

A análise de séries temporais, quando são aplicados a fatores climatológicos, ocasiona especial interesse, visto que é evidente que tais

fatores exercem papel significativo no sucesso ou fracasso de muitos empreendimentos. Alguns modelos estatísticos mais utilizados em análise de séries temporais foram apresentados por La Torre & Cardoso (2001) e Costa et al. 2015. As séries temporais e espaciais da precipitação pluviométricas de uma determinada região são o resultado da integração dos componentes do ciclo hidrológico e, conseqüentemente, das influências naturais e antrópicas dessa região (Silva et al., 2003). Referindo-se à previsão climática ou de longo prazo, tem esta, há muito tempo, despertado a atenção de pesquisadores em várias partes do mundo na previsão de variáveis meteorológicas, destaca-se o método estatísticos da análise harmônica ou de Fourier em longas séries meteorológicas (Dantas Neto et al., 2005; Lacerda et al., 2009; Costa et al., 2015), por estes aspectos, optou-se por estudar as séries temporais e espaciais de precipitações do Agreste Meridional do Estado de Pernambuco.

De acordo com Silva et al. (2008) e Costa et al. (2015), a análise de séries temporais em dados climatológicos é de fundamental importância, visto que o descontrole ou desconhecimento de valores futuros para algumas variáveis relacionadas ao clima pode influenciar direta e negativamente a vida em sociedade, seja nas atividades e no lazer das pessoas, no planejamento das empresas (segmento industrial) e no gerenciamento da agricultura (Setor Rural). Segundo Lacerda et al. (2009) a variabilidade espaço-temporal das precipitações pluviométricas constitui uma característica marcante no clima do NEB, em particular sobre a porção semiárida, onde a irregularidade das chuvas é um fator importante. Estudos recentes sobre mudanças climáticas regionais mostram uma variação no padrão total anual de precipitação sobre o NEB. Em regiões como o Nordeste do Brasil, principalmente no semiárido, a precipitação é uma variável determinante das condições do clima local, bem como da sua variabilidade e mudança em longo prazo (Nóbrega, 2012).

Nos estudos climatológicos de áreas extensas, características inerentes a setores dessas áreas devem ser levadas em consideração. Uma metodologia muito usada determinar regiões homogêneas, as quais caracterizam-se por uma elevada similaridade interna e dissimilaridade externa. Isso é feito através da técnica estatística multivariada chamada Análise de Agrupamento (AA). O método da análise de agrupamento consiste em determinar o nível de similaridade ou dissimilaridade entre indivíduos, aplicando uma função de agrupamento a uma determinada variável (DINIZ, 2002). Este autor considera que

esta análise não pressupõe a existência de grupos; esta metodologia objetiva transformar um conjunto heterogêneo de unidades de medidas, como neste estudo, obtidas em estações meteorológicas, em grupos homogêneos de condições. Deste modo, as regiões chamadas homogêneas se tornam uma forma de zoneamento que permite, considerando as especificidades regionais, conhecer a climatologia de cada uma delas e aplicar modelos, tanto diagnóstico quanto prognóstico, de previsão climática para cada unidade em separado.

Acredita-se que informações regionalizadas acerca das características futuras do clima, com auxílio de ferramentas estatísticas, como análise de agrupamento e análise harmônica por séries de Fourier para as séries temporais de precipitação pluvial, sejam de grande utilidade no processo de tomada de decisão, possibilitando nortear as práticas agrônômicas, especialmente no que se refere ao manejo da planta, do solo e da água, no sentido de minimizar impactos de atividades climáticas e otimizar condições favoráveis. Neste sentido, a ciência meteorológica e a climatologia, juntamente com a estatística, precisam encontrar respostas concretas para a sociedade, no que se refere à previsão dos eventos meteorológicos. Sendo assim, o estudo objetivou identificar a possibilidade da formação de grupos homogêneos, significando “regiões homogêneas”, através da precipitação média anual em 71 municípios pertencentes às seis mesorregiões do agreste pernambucano no Nordeste no Brasil, para os quais as distribuições de chuva possuam um perfil assemelhado ao longo de sua evolução no espaço, usando técnicas estatísticas de agrupamento para a série histórica de precipitação de janeiro de 1985 a maio de 2017, bem como, estudar a decomposição da precipitação média anual em suas componentes harmônicas e construir um modelo completo, pela síntese das componentes mais significativas, para utilização em futuras previsões, capaz de auxiliar no planejamento das atividades agrícolas.

## **Material e Métodos**

### *Localização e caracterização da área de estudo*

As áreas de estudo estão localizadas na mesorregião do Agreste Pernambucano, estendendo-se por uma área aproximada de 24 400 km<sup>2</sup>, inseridas entre a Zona da Mata e o Sertão. Representa 24,7% do território pernambucano, com uma população de cerca de 1.800.000 habitantes (25% da população do Estado de Pernambuco), segundo o censo do IBGE (2015). O estado de Pernambuco está subdividido em seis microrregiões: Vale do

Ipanema, Vale do Ipojuca, Alto Capibaribe, Garanhuns, Brejo Pernambucano e Médio

Capibaribe (Figura 1).

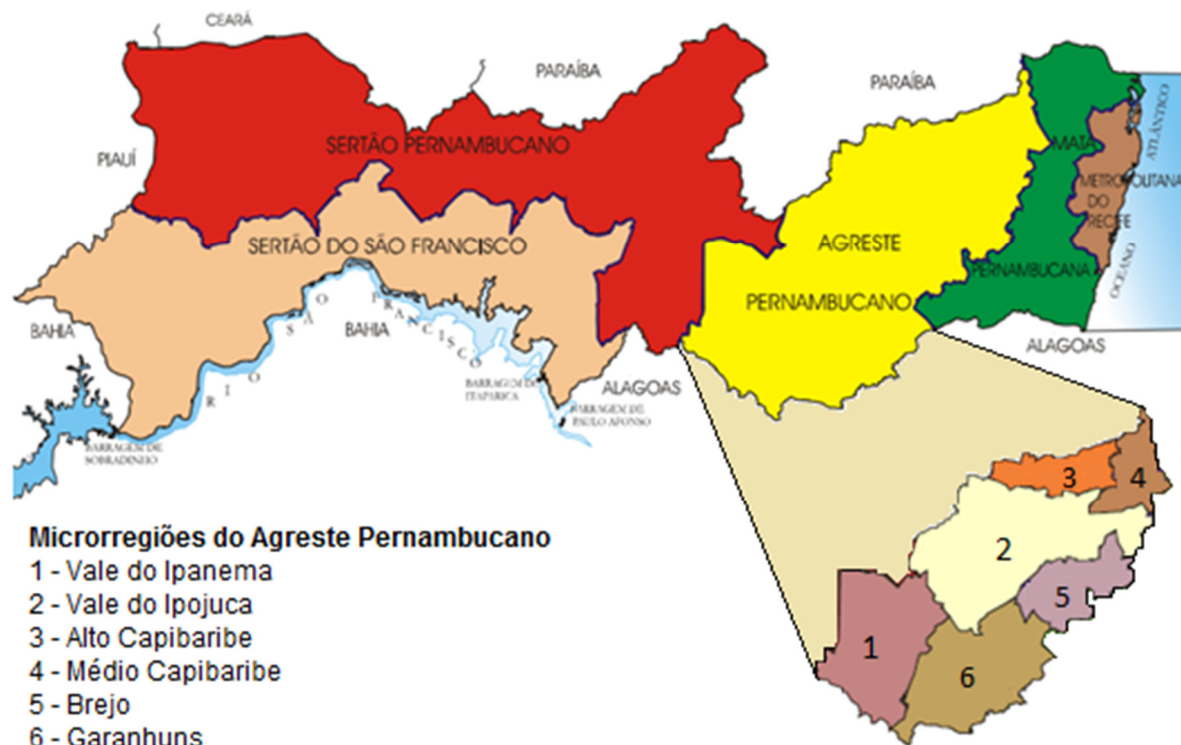


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo, as mesorregiões (71 municípios) do Agreste Meridional Pernambucano na região Nordeste no Brasil. Fonte: CONDEPE/FIDEM (2017).

O Agreste está inserido na área de abrangência do Polígono das Secas, apresentando um tempo de estiagem menor que o de ocorrência no sertão, devido a sua proximidade do litoral. Os índices pluviométricos variam em cada microrregião. O Agreste está situado em parte no planalto da Borborema, conferindo à região um clima mais ameno em relação ao semiárido e com maior índice pluviométrico. As estações do ano são bem definidas, em comparação com o litoral e com o oeste pernambucano. O índice pluviométrico, temperatura e umidade relativa do ar ficam na dependência do relevo, pois o Agreste é a transição entre a zona da mata e o sertão, as chuvas são mal distribuídas em grande parte da região. O clima é do tipo Tropical Chuvoso com verão seco. A umidade relativa do ar oscila entre 10% e 100%, as chuvas são frequentes entre abril a junho, e o período menos chuvoso ocorre entre abril e junho, com chuvas não ultrapassando os 295 mm na estação chuvosa e 25 mm a estação seca. Os climas presentes na região são: clima semiárido e o clima mediterrânico. As

temperaturas raramente ficam abaixo dos 8°C e dificilmente ultrapassam os 37°C (IBGE, 2015).

#### *Obtenção dos dados*

Foram utilizados dados anuais de precipitação pluvial obtidos junto à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e à Agência Nacional de Águas (ANA). O período selecionado para o estudo foi de janeiro de 1985 a 20 de maio de 2017, totalizando 32 anos e cinco meses, para os 71 municípios das seis mesorregiões do Agreste Pernambucano na região Nordeste no Brasil. As informações das séries temporais estão resumidas na Tabela 1, com destaque para os 71 municípios que contemplam as seis mesorregiões do Agreste, com os respectivos nomes dos municípios, acompanhados dos códigos e respectivas coordenadas geográficas (em graus decimais). O controle de qualidade dos dados inclui a consistência espacial e temporal dos valores diários da precipitação. Para minimizar as influências associadas com a heterogeneidade temporal foram removidas as estações com sérios eventos de relocação e séries com dados errôneos e unidades incorretas.

Tabela 1. Relação dos locais selecionados e coordenadas geográficas dos 71 municípios pertencentes às seis microrregiões do Agreste Pernambucano, na região Nordeste no Brasil, para a série histórica de janeiro de 1985 a 20 de maio de 2017.

Municípios	Símbolo	Latitude	Longitude	Município	Símbolo	Latitude	Longitude
Agrestina	AG	-35.9383	-8.4580	Jurema	JUR	-36.14	-8.7180
Águas Belas	AB	-37.1306	-9.1113	Lagoa do Ouro	LAGO	-36.4531	-9.127
Algoíinha	ALAG	-36.7731	-8.4663	Lagoa dos Gatos	LAGA	-35.9083	-8.6583
Altinho	ALT	-36.0558	-8.4897	Lajedo	LAJ	-36.3219	-8.6636
Angelim	ANG	-36.2858	-8.8902	Limoeiro	LIM	-35.4533	-7.8747
Barra de Guabiraba	BG	-35.6539	-8.4200	Machados	MAC	-35.5197	-7.6822
Belo Jardim	BEJ	-36.4325	-8.3355	Orobó	ORO	-35.6053	-7.745
Bezerros	BEZ	-35.7842	-8.2333	Palmeirina	PAL	-36.325	-9.0044
Bom Conselho	BC	-36.6744	-9.1697	Panelas	PAN	-36.0092	-8.6636
Bom Jardim	BOJ	-35.5964	-7.7958	Paranatama	PAR	-36.6558	-8.9208
Bonito	BOM	-35.7206	-8.4702	Passira	PAS	-35.5783	-7.995
Brejão	BREJ	-36.5786	-9.0302	Pedra	PED	-36.9397	-8.4969
Brejo da Madre de Deus	BREJM	-36.3694	-8.1458	Pesqueira	PES	-36.6908	-8.3577
Buíque	BUI	-37.1606	-8.6230	Poço	POÇ	-36.7008	-8.1863
Cachoeirinha	CACH	-36.2267	-8.4863	Riacho das Almas	RIA	-35.8644	-8.1338
Caetés	CAET	-36.6331	-8.7730	Sairé	SAI	-35.7086	-8.327
Calçados	CALÇ	-36.3392	-8.7422	Salgado	SALG	-35.6222	-7.9363
Camocim de São Felix	CSF	-35.7644	-8.3586	Saloá	SAL	-36.6858	-8.9758
Canhotinho	CANH	-36.1911	-8.8822	Sanharó	SAN	-36.5542	-8.3605
Capoeiras	CAP	-36.6244	-8.7347	Santa Cruz do Capibaribe	SMC	-36.2028	-7.9575
Caruaru	CAR	-35.9714	-8.2833	Santa Maria do Cambucá	SBU	-35.8756	-7.8291
Casinhas	CAS	-35.7261	-7.7411	São Bento do Una	SBU	-36.435	-8.5227
Correntes	CORR	-36.3225	-9.1288	São Caetano	SCT	-36.1444	-8.3258
Cumarú	CUM	-35.6911	-8.0061	São João	SJ	-36.3761	-8.8755
Cupira	CUP	-35.9639	-8.6166	São Joaquim do Monte	SJM	-35.8	-8.4325
Feira Nova	FN	-35.3908	-7.9508	São Vicente Férrer	SVF	-35.485	-7.5911
Frei Miguelinho	FM	-35.9019	-7.9397	Surubim	SUR	-35.7519	-7.8330
Garanhuns	GAR	-36.4867	-8.8902	Tacaímbó	TAC	-36.2894	-8.3161
Gravatá	GRAV	-35.5647	-8.2011	Taquaritinga do Norte	TAQ	-36.0381	-7.9030
Iati	IAT	-36.8481	-9.0458	Terezinha	TER	-36.6275	-9.0561
Ibirajuba	IBIR	-36.1736	-8.5805	Toritama	TOR	-36.0517	-8.0066
Itaíba	ITAI	-37.4167	-8.9475	Tupanatinga	TUP	-37.335	-8.7533
Jatuba	JAT	-36.4933	-7.9900	Venturosa	VENT	-36.8781	-8.5747
João Alfredo	JAL	-35.5856	-7.8558	Vertente do Lério	VERTL	-35.855	-7.7713
Jucati	JUC	-36.4833	-8.7063	Vertentes	VERT	-35.9833	-7.9027
Jupi	JUP	-36.4056	-8.7116	-----	-----	-----	-----

A Figura 2 apresenta a localização das seis microrregiões no Estado de Pernambuco e distribuição espacial das estações meteorológicas utilizadas no estudo, indicando os 71 municípios Agreste Meridional de Pernambucano na região Nordeste no Brasil, para a série de 1985 a 20 de maio de 2017. Estas estações estão especialmente bem distribuídas em todas as microrregiões (71 municípios) do Agreste Pernambucano e localizadas em diferentes regiões climáticas.

#### *Estatística descritiva e normalidade dos dados*

Procedeu-se à análise estatística descritiva dos 71 municípios do Agreste Meridional de Pernambucano na região do Nordeste do brasileiro, com o objetivo de caracterizar a normalidade dos dados. Este procedimento é importante para o conhecimento preliminar da distribuição na área. O *software* Sisvar (Ferreira, 2003) foi utilizado no cálculo das análises univariadas. Antes da modelagem dos dados pela análise de Fourier e a análise de agrupamento,

foram verificadas as propriedades de homogeneidade de variâncias, de normalidade e de estacionariedade. Para isto, os dados foram submetidos aos testes de Cochran, Shapiro-Wilk e

regressão linear (teste t), ao nível de probabilidade de 5% (Bussab & Morettin, 2004). Quando esses requisitos não se verificaram, adequadas transformações de dados foram buscadas.

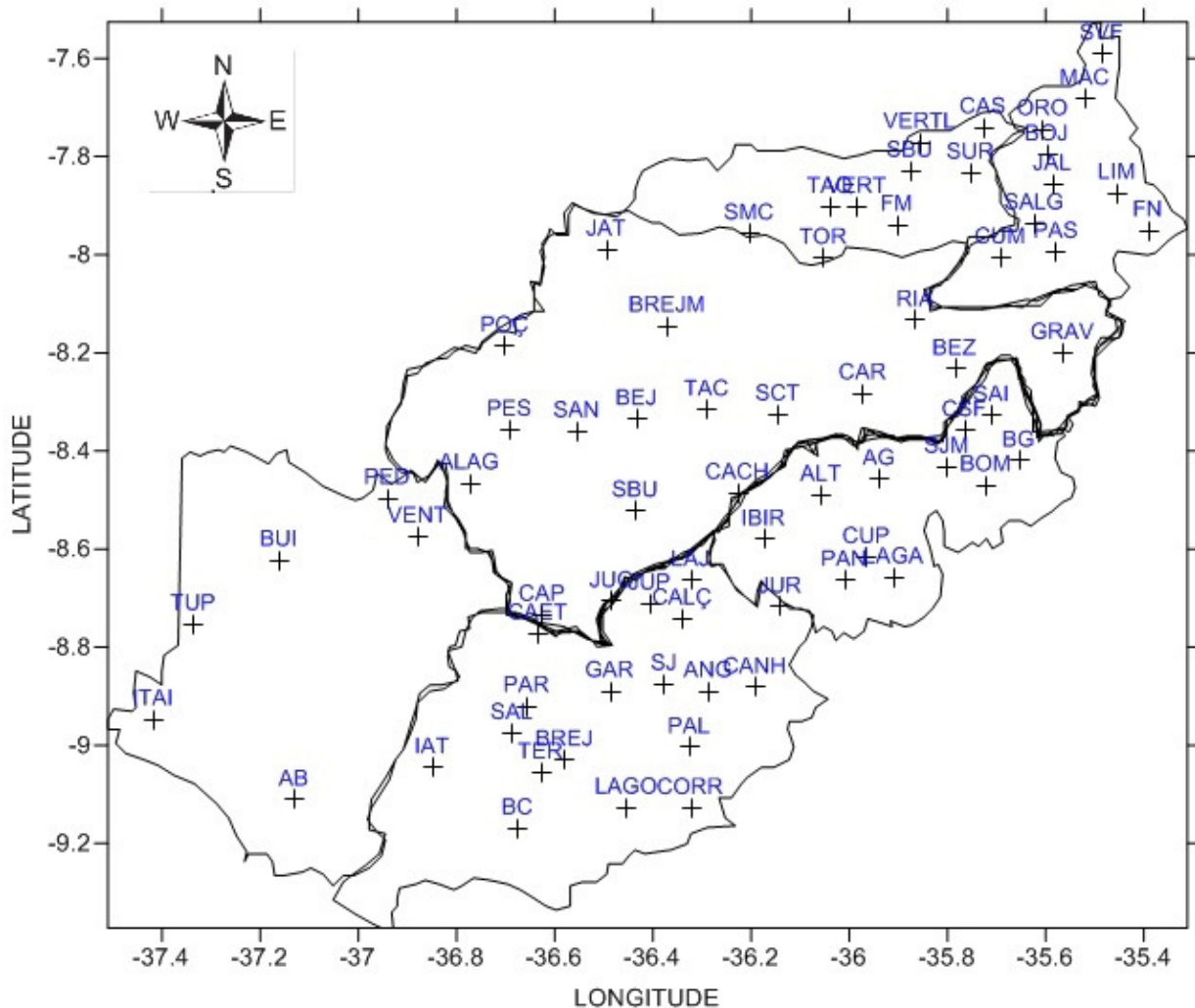


Figura 2. Distribuição espacial das estações meteorológicas, indicando os 71 municípios do Agreste Meridional de Pernambucano na região do Nordeste do Brasileiro, para a série de 1985 a 20 de maio de 2017.

#### *Análise harmônica por séries de Fourier de senos e cossenos*

Após o levantamento e organização dos dados, foi aplicado o modelo matemático e estatístico empregando a análise harmônica por séries de Fourier de senos e cossenos com o objetivo de representar o comportamento da série histórica da precipitação média anual e verificar a existência de previsões com relação à distribuição espacial das chuvas na região do Agreste Meridional de Pernambuco.

A série de dados da precipitação média anual da Tabela 1 foi submetida à análise harmônica por séries de Fourier de senos e cossenos, conforme a expressão seguinte, cuja descrição detalhada dessa metodologia é

apresentada por Assis et al. (1996 citados por Nascimento, 2014).

$$Y_{ti} = P_0 + \sum_{k=1}^{16} [P_k \cos\left(\frac{2\pi k t_i}{T}\right) + Q_k \sin\left(\frac{2\pi k t_i}{T}\right)] \quad \text{Eq.(1)}$$

onde:  $Y_{ti}$  = Valores estimados pelo modelo;  $P_0$  = Coeficiente das séries de Fourier conhecido por harmônico fundamental, representando a própria médias dos valores observados;  $P_k$  e  $Q_k$  = respectivos coeficientes de cosseno e seno para o harmônico “k” das séries de Fourier;  $k = 1, 2, \dots, 16$  - Identifica o número de harmônicos que, para a séries analisada, varia de 1 a 16;  $\omega = 2\pi/T$  – Frequência angular da onda e  $T$  = período em que este é correspondente ao número de dados observados,  $T = 33$  anos;  $t_i$  = Ordenação numérica

dos anos de produtividades correspondentes da série ( $i = 0, 1, \dots, N$ );  $N$  = Número de observações da série.

Os coeficientes  $P_0$ ,  $P_k$  e  $Q_k$  foram obtidos, respectivamente, pela aplicação das seguintes equações:

$$P_0 = \bar{Y} \quad \text{Eq.(2)}$$

$$P_k = a_k \text{sen} A_k \quad \text{Eq.(3)}$$

$$Q_k = a_k \text{cos} A_k \quad \text{Eq.(4)}$$

$$a_k = \sqrt{P_k^2 + Q_k^2} \quad \text{Eq.(5)}$$

onde  $\bar{Y}$  = média da precipitação anual observada dos 33 anos,  $a_k$  e  $A_k$  são, respectivamente, a amplitude e o ângulo de defasagem do  $k$ -ésimo harmônico. A fração da variação total explicada por cada harmônica ( $k = 1, 2, \dots, 16$ ) foi calculada pela Equação 6:

$$\text{Var}_k = \frac{a_k^2}{2S^2} \quad \text{Eq.(6)}$$

onde  $S^2$  é a variância dos dados por cada harmônica.

Para a aplicação da análise harmônica por séries de Fourier foi organizado um banco de dados estruturado com o conjunto dos dados dos postos pluviométricos, georreferenciados através das coordenadas latitude e longitude, e com as correspondentes séries históricas das precipitações pluviais, onde os dados foram agrupados em seis microrregiões (Vale do Ipanema, Vale do Ipojuca, Alto do Capibaribe, Médio Capibaribe, Brejo e Garanhuns), e a cada um deles se associou a média da precipitação pluvial no período.

#### *Análise de agrupamento e componentes principais*

A determinação de grupos de regiões homogêneas de observações das precipitações pluviais médias anuais, no Agreste Meridional do Estado de Pernambuco visou identificar regiões que acompanham um comportamento semelhante de precipitação, e que podem fazer parte de um mesmo grupo. Uma forma prática e eficiente para verificar o comportamento especial de variáveis meteorológicas é através da análise de agrupamento, a qual visa agrupar os indivíduos semelhantes entre si distinguindo-os dos demais (Hair et al., 2010).

De modo geral, os procedimentos existentes para aplicação da análise de

agrupamento desdobram-se em três etapas: especificação de uma medida de similaridade, seleção do método de agrupamento e decisão quanto ao número de grupos a serem formados. O agrupamento dos 71 municípios Agreste Meridional de Pernambucano, em função dos valores da precipitação média anual, foi realizado através de análises de agrupamento, também conhecida como técnica de classificação.

#### *Método de agrupamento*

Para a formação de grupos, ou identificação de microrregiões com valores de precipitações médias anuais homogêneas, não é possível estabelecer, *a priori*, o número ideal de grupos a serem formados. Nesse caso, os métodos não hierárquicos são inconvenientes, quando comparados com o método Aglomerativo Hierárquico (HCA), pois sua aplicação exigiria grande esforço de cálculo nas sucessivas tentativas para encontrar o número adequado de agrupamentos. Assim, adotou-se o método HCA, que é o mais utilizado na construção de agrupamentos (Keller Filho et al., 2005).

De acordo com Meireles & Oliveira (2011), o método HCA é usado para classificar objetos (amostras) usando valores de um conjunto de variáveis, dentro de um grupo. Com este método, as amostras ou variáveis são agrupadas de acordo com suas similaridades, com a distância como a diferença entre os grupos, descrita abaixo para “ $k$ ” observações em cada estação. As medidas de distância são geralmente utilizadas como medidas de similaridade ou dissimilaridade entre os objetos de uma determinada matriz de dados.

#### *Medida de similaridade ou dissimilaridade*

Existem várias medidas de similaridade ou dissimilaridade, no entanto, o pesquisador deve ter o conhecimento dos dados iniciais e ter muita atenção na distância que deve utilizar (Ferreira, 2008). Foi utilizada a distância euclidiana, ou o seu quadrado, em todos os métodos, como medida de dissimilaridade para a formação das regiões homogêneas da precipitação, através do *software* SSPS. A distância euclidiana ( $d_{ij}$ ) entre dois indivíduos ( $i$  e  $j$ ) é dada como a raiz quadrada do somatório das diferenças entre os valores de  $i$  e  $j$  para  $K$  observações em cada estação, proposta por Ward (1963):

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (X_{ik} - X_{jk})^2} \quad \text{Eq.(7)}$$

onde  $X_{ik}$  e  $X_{jk}$  são os dados observados nos postos meteorológicos  $X$  e  $Y$ , respectivamente. Esta

distância não possui um valor limite, mas é sempre positiva ou nula. A determinação de valores de pequenas dimensões é indicativa da existência de uma forte semelhança entre as variáveis (Boscarioli, 2008).

#### *Método de ligação entre os objetos*

Uma vez calculadas as distâncias, estas podem ser utilizadas de diferentes maneiras para promover a ligação entre os objetos. A abordagem mais comum é o chamado agrupamento associativo, no qual os objetos individuais são gradualmente ligados uns aos outros em grupos. Em seguida decreveremos várias técnicas de agrupamento hierárquico que têm sido propostas para unir objetos, e que tornam os agrupamentos formados o mais homogêneo possível, destacando-se, dentre os mais utilizados (Hair et al., 2010): ligação simples (*single linkage method*); ligação completa (*complete linkage method*); método centróide (*centroid method*); método da mediana (*median method*); método da média dos grupos (*group average method*) e método da variância mínima (*Ward's method*). A escolha de uma dessas técnicas é, de certa forma, subjetiva. A ligação é, basicamente, a estratégia para se estabelecerem distâncias objeto-grupo ou grupo-grupo.

Neste estudo foi utilizado o método de Ward ou Ward linkage (ligação simples) para promover a ligação entre os grupos (regiões com observações da precipitação média anual homogênea), esse método baseia-se na análise de variância, associando os objetos aos grupos nos quais estes promovem a menor variância intra-grupo (Ward, 1963 citado por Keller Filho et al., 2005).

O cálculo da variância é dado por:

$$W = \sum_{k=1}^n d_{ij}^2 \quad \text{Eq.(8)}$$

Este algoritmo “Ward” é altamente eficiente na formação de grupos. Segundo Giacomino et al. (2011), o método de Ward, é atraente por basear-se em uma medida com forte apelo estatístico e por gerar grupos que, assim como os do método vizinho mais afastado, possuem uma alta homogeneidade interna. No entanto, pode apresentar resultados insatisfatórios quando o número de elementos em cada grupo é praticamente igual; tem tendência a combinar grupos com poucos elementos e é sensível à presença de *outliers* (Corrar et al., 2007).

De posse dos valores das distâncias euclidianas e das variâncias intergrupo pelo método Ward, foi gerado o dendrograma para representar a “árvore” ou a história de

agrupamento, permitindo a visualização das distâncias entre os 71 municípios, em relação às médias da precipitação anual, envolvidas em cada um dos pontos meteorológicos coletados.

O dendrograma corresponde à representação bidimensional do esquema da associação sucessiva dos objetos, atendendo à sua similaridade, até culminar na fusão de todos os grupos em um único grupo final. Estes são especialmente úteis na visualização de semelhanças entre objetos ou grupos representados por pontos no espaço, com dimensão maior que três, onde a representação de gráficos convencionais não é possível (Corrar et al., 2007). O gráfico gerado apresenta, no eixo das abscissas do dendrograma, os grupos ou regiões (preferencialmente na ordem em que foram agrupados), enquanto que, e no eixo das ordenadas, as dissimilaridades (distâncias) ou a variância entre os grupos. A altura das barras indica a distância do agrupamento.

#### *Número de grupos*

Segundo Lattin et al. (2011), para determinar o número de grupos não existe um método inteiramente satisfatório para a determinação do número ideal de grupos. Com esse propósito, utilizamos como critério para determinar o número de grupos o exame do dendrograma por meio do critério matemático da inércia para divisão prévia de grupos. A estratégia é “cortar” o dendrograma em alguns pontos observando o número de grupos e o tamanho do intervalo do coeficiente de similaridade/dissimilaridade. Deve-se escolher o intervalo de maior tamanho, entre os diversos cortes, ou seja, para obter k grupos basta apenas cortar as k-1 arestas mais altas do dendrograma (Mingoti, 2007; Freitas & Prata, 2007).

#### **Resultados**

O Agreste meridional pernambucano apresentou uma precipitação média de 944,4 mm (Figura 3). Observou-se um comportamento temporal dos valores médios da precipitação média anual registrada nas seis microrregiões do Agreste pernambucano no período de 32 anos e cinco meses. O ano com maior precipitação média anual foi 2004, com 683,98 mm, e o ano com menor média anual foi 2012, com 155,75 mm. Além disto, as precipitações máximas (acima de 600 mm), ao longo dos 33 anos, referentes aos anos de 1985, 2000, 2002, 2004 e 2013, estão associadas a um registro de 647,41 mm, 681,11 mm, 612,59 mm, 683,98 mm e 635,02 mm, respectivamente. Todos com valores acima da precipitação média anual.



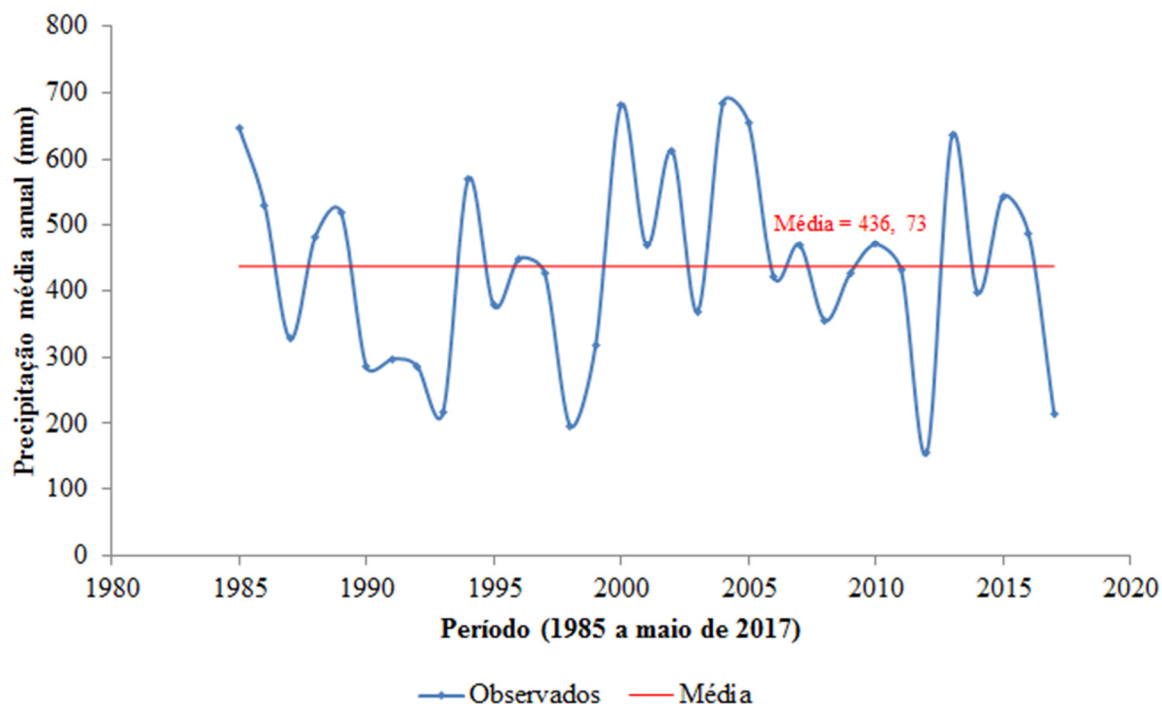


Figura 3. Médias anuais da precipitação (mm) para as seis microrregiões (71 municípios) do Agreste de Pernambuco na região do Nordeste do Brasileiro, para a série de janeiro de 1985 a maio de 2017.

Por sua vez, as precipitações mínimas (abaixo de 300 mm) associadas aos anos de 1990, 1991, 1992, 1993, 1998, 2012 e 2017 (até maio) representam um registro de 285,38 mm, 297,31 mm, 286,43 mm, 216,20 mm, 193,98 mm, 155,75 mm e 214,95 mm, respectivamente. Tais totais encontram-se abaixo do total médio acumulado para a referida região do Agreste meridional pernambucano.

Para a série estudada (Figura 3) foi identificada uma oscilação da precipitação média anual de toda área ente 155,75 e 683,98 mm, com valor médio anual de 436,76 mm, indicando uma grande variabilidade, com altos valores do desvio padrão (143,36 mm) e do coeficiente de variação (32,82%), o que era esperado, uma vez que o estado apresenta microrregiões com climas bem distintos. Analisando a variabilidade, com base nos valores do coeficiente de variação, observamos que os valores das pluviosidades anuais apresentaram variação média, com base na classificação de Warrick & Nielsen (1980 citados por Silva et al., 2011), entre baixa ( $CV < 12\%$ ), médio (12 a 60%) e alta ( $> 60\%$ ). É possível utilizar esses dados para realizar uma estimativa de anos futuros e respectivos anos de estiagem e/ou excesso de precipitação (Figura 3). Também é possível observar a alternância entre médias anuais de precipitação elevadas e reduzidas, o que

pode, em parte, ser explicado pelos eventos La Niña e El Niño. O alto índice pluviométrico registrado em 2004 pode ser explicado pela ocorrência do fenômeno La Niña, o qual provoca um aumento no índice pluviométrico devido às mudanças na circulação atmosférica geradas pelo aquecimento das águas oceânicas. Da mesma forma, a baixa precipitação registrada no ano seguinte é explicada pela ocorrência do fenômeno El Niño que, opostamente ao La Niña, provoca acréscimo nos índices pluviométricos, fenômenos estes amplamente analisados anteriormente por meteorologistas.

#### *Análise harmônica por séries de Fourier*

O estudo da análise harmônica na série dos dados referentes à precipitação média anual para as seis microrregiões (71 municípios) do Agreste de Pernambuco na região do Nordeste brasileiro, para a série de janeiro de 1985 a maio de 2017, totalizando 32 anos e cinco meses de observações, possibilitou a descrição de dezesseis ondas senoidais, das quais, três foram consideradas significativas (harmônicas:  $k = 2$ ,  $k = 7$  e  $k = 12$ ). Portanto, sua síntese representa 49% da variação total entre o período observado, resumida na Tabela 2.

Tabela 2. Valores dos coeficientes ( $P_0$ ,  $P_k$  e  $Q_k$ ,  $a_k$ ,  $A_k$  e  $Var_k$ ) resultantes da análise harmônica das médias anuais da precipitação (mm) para as seis microrregiões (e seus 71 municípios) do Agreste de Pernambucano na região do Nordeste do Brasileiro, para a série de janeiro de 1985 a maio de 2017.  $k$  =  $k$ -ésimo harmônico de Fourier,  $P_k$  e  $Q_k$  = respectivos coeficientes de cosseno e seno para cada harmônico “ $k$ ” das séries de Fourier,  $a_k$  e  $A_k$  = respectivamente, amplitude e ângulo de defasagem para cada harmônico “ $k$ ”,  $Var_k$  = fração da variação total explicada por cada harmônica “ $k$ ” e  $Var_k$  (Acum.) = fração da variação total explicada acumulada por cada harmônica “ $k$ ”.

k	Coeficientes resultantes da análise harmônica					
	$P_k$	$Q_k$	$a_k$	$A_k$	$Var_k$	$Var_k$ (Acum.)
1	-27,39	-44,03	51,85	1,01	0,07	0,07
2	66,50	19,38	69,26	0,28	0,12	0,18
3	7,88	-26,81	27,94	-1,28	0,02	0,20
4	2,23	40,74	40,80	1,52	0,04	0,24
5	-41,16	11,01	42,61	-0,26	0,04	0,29
6	-8,13	-29,29	30,40	1,30	0,02	0,31
7	31,27	64,03	71,26	1,12	0,12	0,43
8	38,04	-18,95	42,50	-0,46	0,04	0,48
9	27,73	30,43	41,17	0,83	0,04	0,52
10	2,79	-5,37	6,05	-1,09	0,00	0,52
11	19,77	45,40	49,52	1,16	0,06	0,58
12	23,79	98,65	101,47	1,33	0,25	0,83
13	11,95	-18,66	22,16	-1,00	0,01	0,84
14	46,02	9,53	47,00	0,20	0,05	0,89
15	34,10	-47,82	58,73	-0,95	0,08	0,98
16	-24,71	17,48	30,27	-0,62	0,02	1,00

O Coeficiente das séries de Fourier, conhecido por harmônico fundamental ( $P_0 = \bar{Y}$ ), é igual a 436,73 mm, o período fundamental  $T$  é de 33 anos, a frequência angular ( $\omega$ ) é igual a  $2\pi/T = 0,190$  e  $k=16$  é a ordem da maior harmônica a ser estimada, ou seja, corresponde ao número de harmônicos ajustados pelas séries de Fourier para o conjunto de dados, pois as séries contêm um conjunto ímpar equivalente a 33 observações. Os resultados dos cálculos dos coeficientes de cosseno e seno ( $P_k$  e  $Q_k$ ), as amplitudes e os ângulos de defasagem do  $k$ -ésimo harmônico ( $a_k$  e  $A_k$ ) e os valores das frações da variação total explicada e acumulada por cada harmônica ( $Var_k$ ) para o conjunto de dados são apresentados na Tabela 2.

A primeira harmônica, ou a onda fundamental, de período  $T = 33$ , explica apenas 7% da variação total e a segunda explica apenas 12%, porém, não é comum ocorrer, em Meteorologia, modelos construídos a partir de uma única onda (Andrade, 2006; Nascimento, 2014). Assim, o modelo completo, ou modelo síntese para descrever o comportamento da componente determinística, das séries temporais médias anuais da precipitação, para as estações das seis microrregiões (71 municípios) do Agreste de Pernambuco, para o total dos 33 anos de observações, foi construído a partir de três ondas senoidais, utilizando-se a segunda, sétima e décima segunda harmônica, as quais, juntas, explicam 49% da variação total dos dados, de

acordo com o critério do teste F, para participarem do modelo. Desta forma, a equação do modelo completo, constituído pela soma das três ondas, representativo da marcha da chuva média anual do Agreste de Pernambuco, é dada por:

$$Y_t = 436,73 + 66,50 \cos(0,380.t) + 19,38 \sin(0,380.t) + 31,27 \cos(1,332.t) + 64,03 \sin(1,332.t) + 23,79 \cos(2,283.t) + 98,65 \sin(2,283.t) \quad \text{Eq.(9)}$$

onde:  $t$  = variando de 0 a 32 conforme o ano da previsão (1 ano  $t = 0$ , 2 ano  $t = 1$ , 3 ano  $t = 2$  e, assim, sucessivamente).

Na Figura 4 estão representadas as variações da segunda (16,5 anos), da sétima (4,71 anos) e da décima segunda harmônica (2,75 anos), bem como a média anual (436,73 mm), a síntese que representa o modelo constituído pela soma dessas três ondas “denominada de síntese” e os valores observados médias anuais da precipitação no período de 33 anos. A escolha das três ondas senoidais que melhor representam o modelo para o Agreste meridional pernambucano foi possibilitada mediante o uso da análise de variância de cada harmônico ( $Var_k$ ), através do qual se obteve os seguintes valores: onda da segunda harmônica (16,5 anos): 12%; onda sétima harmônica (4,71 anos): 12% e a onda correspondente à décima segunda harmônica (2,75 anos): 25%. Pode-se notar que as médias das chuvas anuais estimadas pela síntese atingem seus

maiores valores entre os anos de 1985 a 1987, seguidos de 2004 a 2006 (Figura 4), períodos caracterizados como chuvosos e seus menores valores são verificados entre os anos de 1992 a 1994, seguidos de 2011 a 2013, períodos caracterizados como secos. Seus valores extremos máximos são de 634,24 e 630,95 mm, em 1986 e 2005, respectivamente, e os valores mínimos são de 634,24 e 3,1 mm, em 1993 e 2012, respectivamente. Através da análise da onda harmônica 12 (correspondente a 2,75 anos), verifica-se que ela segue o comportamento dos dados observados, porém ocorrendo com um atraso aproximado de alguns anos e amplitude negativa, decorrente da posição do ângulo de fase

ser negativa no primeiro quadrante, além de não ser comum, em Meteorologia, modelos constituídos de uma única onda. Apesar desta onda explicar 12% da variação total da chuva no Agreste Meridional pernambucano, a ela deve ser dada preferência pelo modelo completo “síntese”, ou seja, a soma das três harmônicas (2, 7 e 12), que explica 49% da variação total das chuvas médias. A inclusão das demais ondas harmônicas (1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15 e 16) não é necessária, uma vez que, a contribuição é praticamente desprezível, por não apresentar variação significativa quando incluídas no modelo completo.

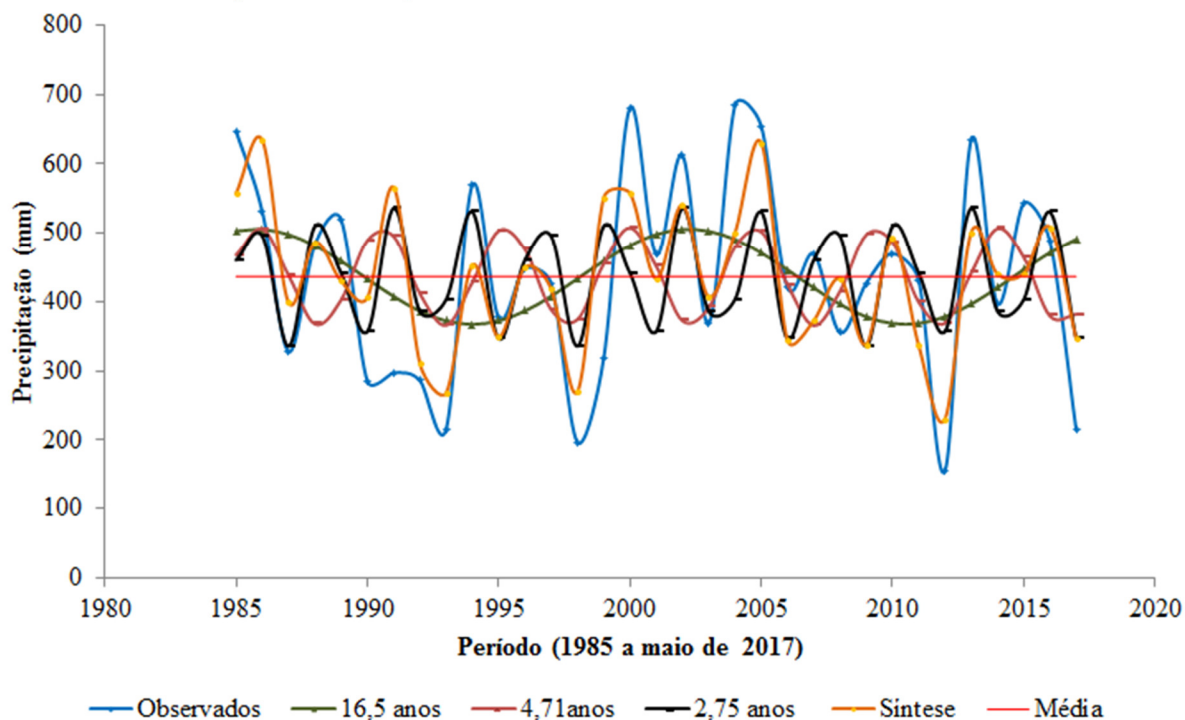


Figura 4. Variação da precipitação média anual para as seis microrregiões (71 municípios) do Agreste de Pernambuco (1985 a maio de 2017), representadas pelas harmônicas:  $k = 2$  (16,5 anos),  $k = 7$  (4,71 anos) e  $k = 12$  (2,75 anos), a síntese destas três e a média anual.

#### Análise de agrupamento

Nesta fase do estudo, a análise de agrupamento foi utilizada para formar grandes aglomerados de observações da pluviometria, a fim de verificar se a distribuição espacial é consistente com a diversificação climática existente nas seis microrregiões do Agreste Meridional pernambucano. Através do método hierárquico da variância mínima, com base na ligação de Ward (Ward, 1963), foi possível identificar três grupos homogêneos das estações nas seis microrregiões em estudo.

Esses grupos foram identificados através do corte transversal no dendrograma, utilizando o critério matemático da inércia para divisão prévia de grupos, assumindo como ponto de corte no

eixo vertical do dendrograma, a uma distância euclidiana quadrada de 980, como perda máxima de dissimilaridade. Isto permitiu a formação dos três grandes aglomerados ou grupos, ou, ainda, microrregiões de observações pluviométricas em todo o Agreste Meridional de Pernambuco, as quais passaram a ser denominadas áreas homogêneas, identificadas como grupo ou área 1, área 2 e área 3 (Figura 5). Esses grupos estão situados em áreas climáticas distintas, com regime de precipitação pluvial bastante diversificado. De fato, a precipitação pluvial média ao longo dos 33 anos apresenta um grande contraste entre as áreas homogêneas, com exceção da área 3 (Figura 5).

No dendrograma obtido (Figura 5) é visível uma estrutura com três áreas ou

microrregiões homogêneas distintas. A primeira área (área 1) é formada pelas microrregiões: Vale do Ipanema (VIPO), Vale do Ipojuca (VIPA) e Alto do Capibaribe (AC), embora a última microrregião englobe o Vale do Ipanema e o Vale do Ipojuca de forte, com semelhança entre si, mas ligeiramente distintas (fraca semelhança) do Alto do Capibaribe. As microrregiões que formam a área 1 representam os menores valores de precipitação média anual em todo o período estudado (33 anos), pois elas possuem menor altura em relação ao eixo y do dendrograma.

Visando uma melhor análise caracterizadora destes grupos foi analisada a Figura 6, a qual representa o mapa das estações meteorológicas utilizadas no estudo, mostrando os 71 municípios do Agreste Meridional pernambucano na região Nordeste do Brasil (A), e o mapa da distribuição espacial das isolinhas das médias anuais da precipitação para as seis mesorregiões, no período de 1985 a 20 de maio de 2017. Os mapas foram produzidos a partir da análise geoestatística através do método de interpolação, por krigagem ordinária utilizando o programa *Golden Surfer 7 for Windows*.

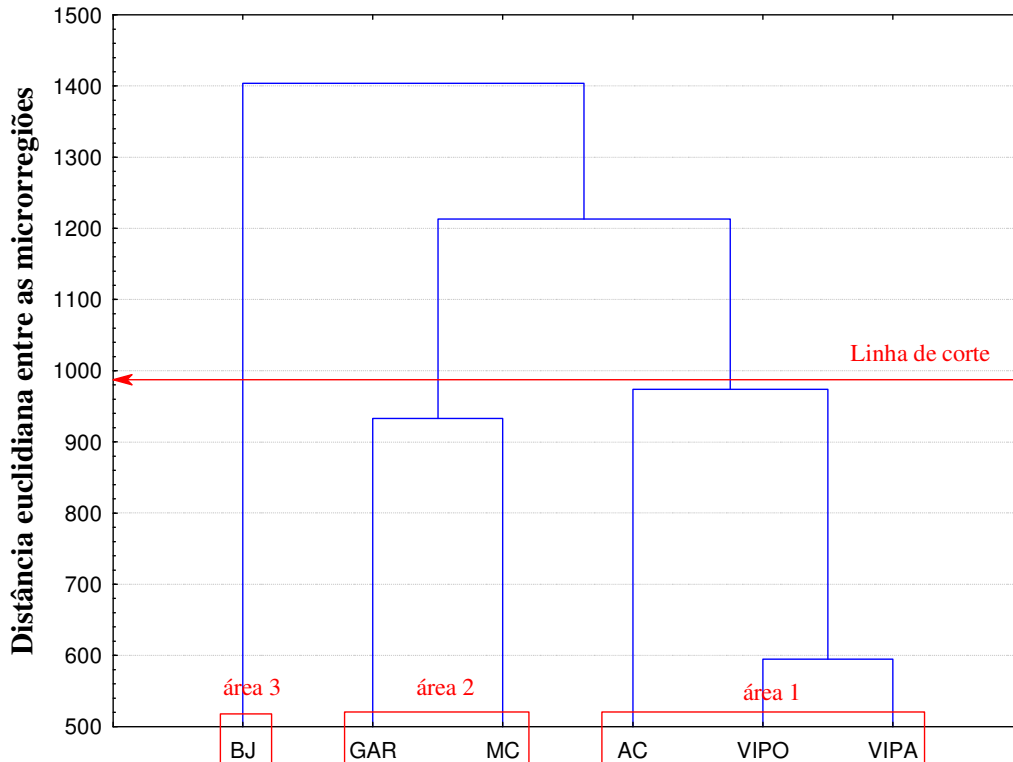
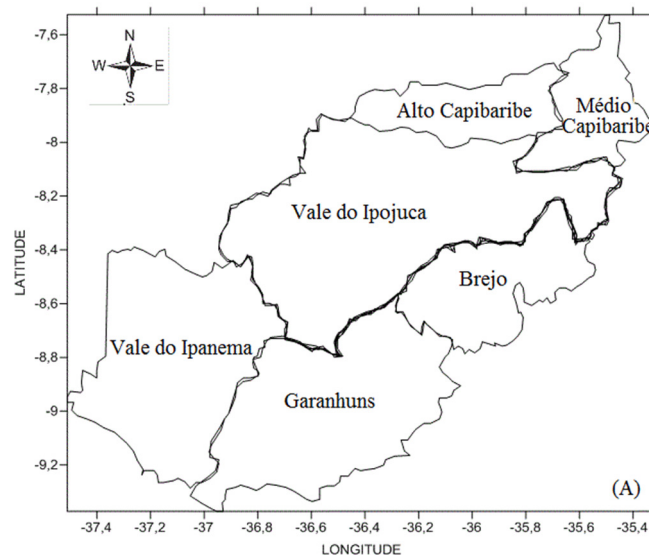


Figura 5. Dendrograma da representação esquemática dos grupos formados através de análise hierárquica de agrupamentos, onde cada microrregião do Agreste pernambucano é um objeto caracterizado pela precipitação média anual, com base em uma ligação de Ward.



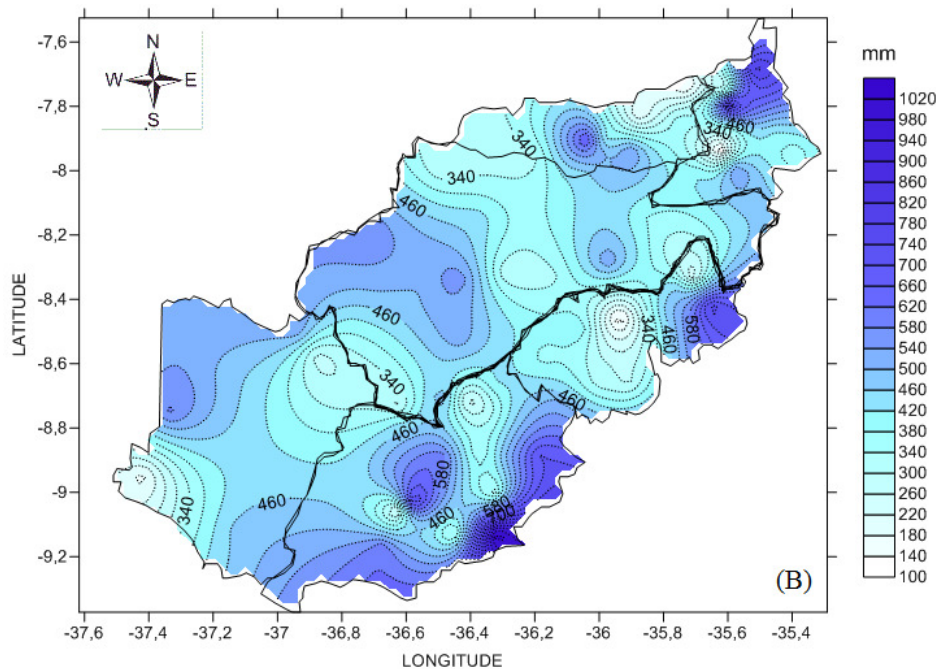


Figura 6. Distribuição espacial das estações meteorológicas, mostrando os 71 municípios Agreste do Meridional de Pernambucano, na região Nordeste do Brasil (A) e o mapa da distribuição espacial das isolinhas das médias anuais da precipitação para as seis mesorregiões, para a série de 1985 a maio de 2015 (B).

A área 2 é formada pelas microrregiões: Médio Capibaribe (MC) e Garanhuns (GAR), estas representam os valores intermediários de precipitação em todo o período estudado, oscilando entre 460 e 700 mm. A área 3 é formada pela microrregião do Brejo (BJ), formando, no dendrograma, um grupo isolado, devido aos valores da precipitação serem superiores às demais microrregiões do Agreste Meridional Pernambucano, valores oscilando entre 580 e 900 mm, embora tenham ocorrido várias oscilações seguidas no período estudado.

As três áreas representadas pelas microrregiões são compactas, com exceção da área 3. Esta última apresenta notórias diferenças entre as áreas 1 e 2. A primeira área compreende um total de 31 municípios (seis municípios no Vale do Ipanema, 16 no Vale do Ipojuca e nove no Alto do Capibaribe), a segunda área totaliza 29 municípios (Médio Capibaribe com 10 municípios e 19 em Garanhuns) e a terceira área “Brejo” apresenta o menor número, com 11 municípios.

O estudo de Rao & Hada (1990) indicou, para o nordeste brasileiro, a existência de quatro regiões com precipitação pluvial com características bem distintas. Neste trabalho, a análise de agrupamento identificou seis zonas pluviometricamente homogêneas: zona S, influenciada pelo clima Litorâneo Úmido; zona T, que abrange parte do sertão nordestino, no qual predomina o clima Tropical Semiárido; zonas U, V e R, que são de transição entre o clima Tropical

Semiárido e o clima Litorâneo Úmido; zona X, que abrange, principalmente, o Maranhão, onde predomina o clima Tropical. Nota-se a presença de uma região fronteiriça com a zona A da área 1, situada entre Tocantins e Maranhão. Os principais fatores que influenciam o regime de chuvas nessas quatro regiões estão associados à condensação do ar úmido trazido pelos ventos de leste da Zona de Convergência Intertropical, além das respostas à flutuação dinâmica do centro de convecção, quase permanente na Amazônia.

### Discussão

O Brasil, de uma maneira geral, apresenta uma boa disponibilidade hídrica. Porém, por suas dimensões continentais e diversidade climática, o país apresenta situações bastante distintas quanto à disponibilidade hídrica, sendo afetado, tanto pela escassez hídrica, quanto pela degradação dos recursos, causada pela poluição de origem doméstica e industrial (Ana, 2013; Salviano et al., 2016). A região Nordeste do Brasil sofre com a irregularidade de chuvas, irregularidades essas que variam de ano para ano. Segundo Salviano et al. (2016), ao longo dos anos, essa região tem enfrentado grandes problemas em decorrência da irregularidade do seu regime pluvial, atingindo, principalmente, a agricultura e a hidrologia, sendo um fator limitante na produção e nas atividades agrícolas.

A disponibilidade natural de água na região Semiárido do Brasil é caracterizada por

uma distribuição de chuvas bastante irregular, baixos índices de pluviosidade e longos períodos de estiagem (Nys & Engle, 2014; Hastenrath, 2012). Os longos períodos de estiagem, influenciados pelo El Niño (Hastenrath, 2012; Cavalcanti, 2012), ocasionam danos irreparáveis à população da região, em especial àqueles que retiram seu sustento da atividade agrícola, em especial a agricultura familiar (Silva et al., 2005; Rodriguez et al., 2015). A detecção de mudanças climáticas em séries temporais hidrometeorológicas contribui para o conhecimento científico e é uma necessidade para estabelecer o efeito das mudanças climáticas sobre os sistemas hidrometeorológicos, fundamental para o planejamento futuro dos recursos hídricos e produção de alimentos (Obregón & Marengo, 2007).

De acordo com Silva et al. (2008), a análise de séries temporais em dados climatológicos é de fundamental importância, visto que o descontrole ou desconhecimento de valores futuros para algumas variáveis relacionadas ao clima pode influenciar, direta e negativamente, a vida em sociedade, seja nas atividades e no lazer das pessoas, no planejamento das empresas (segmento industrial) e no gerenciamento da agricultura (Setor Rural). Segundo os relatórios do IPCC (2001), há, em escala regional, uma clara evidência de mudanças na variabilidade climática e nos eventos meteorológicos extremos devido às influências antropogênicas. Assim, atualmente, a caracterização estatística de séries temporais de dados climáticos deve considerar a existência de possíveis alterações no regime esperado das variáveis em estudo na análise do clima de uma região.

É importante utilizar técnicas para a caracterização climática de determinadas regiões, como o uso da análise de Fourier, onde foi possível detectar processos determinísticos bem marcados na série de dados das precipitações médias anuais nas seis microrregiões do Agreste de pernambucano. Os resultados mostraram que a variância explicada no harmônico 12, com o sinal mais forte obtido através da análise de Fourier, é explicada, predominantemente, pelo ciclo anual. Este harmônico é representativo do ciclo anual com uma periodicidade de, aproximadamente, três anos, visto que tomando a quantidade de dados e dividindo pelo número de harmônicos obtém-se 16 ondas senoidais (ciclo anual). Periodicidades diferentes distribuem-se ao longo das sub-regiões do Nordeste do Brasil, sugerindo que mais de um sistema físico contribui para as chuvas na região. Notadamente, uma periodicidade de três a cinco

anos aparece de forma mais frequente nas chuvas no Nordeste. Sugere-se que esta última periodicidade está relacionada com ocorrências (a cada três anos), o que pode, em parte, ser explicado pelas altas intensidades dos ventos alísios de nordeste associadas com a configuração típica do enfraquecimento dos alísios de sudeste junto à costa do NEB, impulsionando a ZCIT a atingir o setor norte do NEB, como, também, transportando umidade da Amazônia e do Oceano Atlântico (Alves et al., 2017). Essa característica é contrária à baixa precipitação registrada no ano seguinte, quando foram observadas anomalias de ventos mais fortes de sudeste, próximos à região norte do Brasil, dificultando a penetração da ZCIT e da umidade da Amazônia.

As secas severas no NEB, objeto de inúmeros estudos por seus impactos sociais e econômicos, têm sido relacionadas à ocorrência do El Niño. Entretanto, a relação entre El Niño e as secas no NEB não é unívoca (Andrade, 2006; Sousa & Silva, 2013). Segundo Kane (1997 citado por Freitas, 2005), da ocorrência dos 46 El Niño (fortes e moderados) no período de 1849-1992, somente 21 (45%) estiveram associados às secas severas. Aragão (1998 citado por Oliveira et al., 2006) comenta que as chuvas foram reduzidas em torno de 70% em 1998, no estado de Pernambuco, ocasionando grandes problemas para a população pela falta d'água para o abastecimento humano e animal. Isto se deve ao fato do fenômeno El Niño ter iniciado em 1997, intensificando-se em 1998, sendo considerado um dos episódios mais intensos do século.

Os longos períodos de estiagem, influenciados pelo El Niño (Hastenrath, 2012; Cavalcanti, 2012), ocasionam danos irreparáveis à população da região, em especial àqueles que retiram seu sustento da atividade agrícola, em especial da agricultura familiar (Rodriguez et al., 2015). Os diferentes sistemas de circulação atmosférica que atuam nessa região tornam a climatologia complexa, refletindo em uma grande variabilidade climática, considerando as chuvas, com eventos de precipitação, variando no tempo e no espaço (Silva, 2004).

Segundo Wanderley et al. (2013), a distribuição das chuvas no Nordeste sofre influência da interação dos oceanos Pacífico e Atlântico, como a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), Dipolo do Atlântico e El Niño/Oscilação Sul (ENOS). Destacam-se, também, outros sistemas indutores de chuva na região, como a ZCIT, Bandas de nebulosidade associadas a Frentes Frias, Perturbações Ondulatórias no campo dos Alísios (POA's), Linhas de Instabilidade (LI), Vórtices Ciclônicos em Altos

Níveis (VCAN), Onda de Leste (OL) e os Complexos Convectivos de Meso escala (CCM). A resposta da modificação de um desses sistemas na distribuição da precipitação é observada nos resultados encontrados por Brito et al. (2011), os quais verificaram um aumento de três vezes na frequência das trovoadas no estado de Alagoas, após o ano de 1998, em decorrência do início da fase fria da ODP. Essas trovoadas estão associadas às anomalias da temperatura da superfície do mar, quando negativas (positivas) e, associadas ao evento La Niña (El Niño), promovendo um aumento (diminuição) de 80% (20%) dos dias com trovoadas; em anos de neutralidade, o comportamento é análogo ao de La Niña. Nos anos de 2002 e 2005, como exemplo, foram observados 16 e 17 eventos de trovoadas em Alagoas, respectivamente, enquanto no ano de 1996 foram observados apenas seis casos.

A Tabela 2 apresenta os valores de variância explicadas, podendo-se observar uma variabilidade do ciclo anual oscilando entre 0 e 25%. Tal variabilidade ocorre devido aos efeitos orográficos (região nordeste, principalmente) e devido à maritimidade (região leste). Também se observa que em todas as seis microrregiões do Agreste de Pernambucano, a variância explicada do ciclo anual apresenta valores abaixo de 12%, com exceção do harmônico  $k=12$  com valor igual a 25%. Sabe-se que o Estado de Pernambuco tem um ciclo anual bem marcado com máximos de precipitação no período do inverno e mínimas no verão, de acordo com a Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC).

A região Nordeste do Brasil (NE) possui um regime de chuvas variável, tanto no tempo como no espaço, com elevadas temperaturas ao longo do ano e média anual de precipitação que supera 1500 mm, chegando a 2150 mm (Oliveira et al., 2014), com elevada variabilidade climática. Tal variabilidade pode ser ocasionada tanto pela localização geográfica, quanto pela atividade humana. O fato é que observa-se em regiões interioranas um clima semiárido apresentando altas temperaturas praticamente durante todo o ano, baixa umidade e ausência de chuva por vários meses, com acúmulo de precipitação inferior a 500 mm anuais e ao mesmo tempo, na parte sul, um clima tropical com temperaturas elevadas, pouca quantidade de chuva durante o inverno e o verão com muita precipitação; é possível verificar no litoral um clima litorâneo úmido com chuvas bem distribuídas durante todo o ano e temperatura mais elevadas no verão do que no inverno, enquanto que no extremo oeste,

predomina o clima equatorial úmido, com alta pluviosidade e altas temperaturas e umidade.

Tal variedade pode ser evidenciada também nos municípios microrregiões do Agreste de pernambucano. Assim, faz-se necessário um estudo local do comportamento das chuvas antes de realizar uma atividade agrícola e como auxílio para um planejamento hidrológico, levando-se em consideração a periodicidade dos fenômenos climáticos, os quais as séries harmônicas podem descrevê-los em qualquer região.

As microrregiões do Agreste de Pernambuco que estão em uma mesma área ou agrupamento possuem precipitações médias anuais semelhantes, e as que possuem médias diferentes formam outras áreas, isso comprova a existência de homogeneidade dentro da microrregião e heterogeneidade entre as microrregiões (Figura 6). Portanto, considerada como uma análise exploratória preliminar, essa identificação de três áreas homogêneas produziu bons resultados, apesar da baixa densidade espacial dos postos pluviométricos existentes no estado de Pernambuco. Considerando, entretanto, que a precipitação pluvial é influenciada por fatores físico-geográficos, como posição, extensão latitudinal e relevo, deve-se esperar que, em grandes extensões territoriais, o regime de chuva não seja muito homogêneo. Por isso, o método de Ward foi também utilizado para subdividir cada área homogênea em várias zonas homogêneas, nas quais o regime de chuva apresenta um grau de homogeneidade suficiente para os propósitos do estudo. Para determinar o número ideal de zonas homogêneas, utilizou-se o Critério Cúbico para Agrupamento (Keller Filho et al., 2005).

A identificação de zonas com pluviometria homogênea é fundamental para o Zoneamento Agrícola do Brasil, servindo de base para a definição do calendário agrícola. O conhecimento detalhado dos padrões pluviais de regiões homogêneas é um auxílio inestimável para a escolha das culturas de menor risco e para o estabelecimento das datas de plantio mais favoráveis. Assim, por exemplo, a cultura de milho na área 1 apresenta maior risco, a qual abrange praticamente todo o Agreste nordestino, do que nas áreas 2 e 3, que abrangem a região da Serra do Araripe, em Pernambuco, pois os índices de precipitação pluvial nessas áreas são maiores que os da área 1.

## Conclusão

Tomando como base as tendências e a variabilidade espacial observadas nas estações em toda a área estudada, pode ser concluído que ocorreu um decréscimo da precipitação pluvial

média anual nas seis microrregiões do Agreste Meridional pernambucano, e que os anos nessas microrregiões foram menos chuvosos, sendo necessária, para o desenvolvimento da agricultura, a suplementação através da irrigação;

A aplicação da harmônica da série de Fourier por meio do modelo completo da síntese, que considera as três ondas harmônicas (segunda harmônica - 16,5 anos, sétima harmônica - 4,71 anos e décima segunda harmônica - 2,75 anos), estima a variação da precipitação média anual dos 75 anos de observações no Agreste Meridional pernambucano, com uma representatividade de 49% do modelo completo. Recomenda-se sua utilização em estudos de chuvas na região para a melhoria das práticas agrícolas regionais e alerta para os riscos da escassez de chuvas.

Os modelos propostos pela análise harmônica da série de Fourier podem ser considerados como adequados para representar a variação entre os dados anuais de precipitação e, também, como um previsor confiável do comportamento médio desta variável meteorológica.

A análise de agrupamento hierárquica é um instrumento adequado na identificação de áreas homogêneas quanto ao regime de chuva do Agreste Meridional pernambucano na região Nordeste do Brasil.

A análise hierárquica de agrupamento permitiu identificar três áreas com pluviometria homogênea, localizadas em seis microrregiões representativas da diversidade climática do território do Agreste Meridional pernambucano.

### **Agradecimentos**

Agradecemos à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pelo financiamento de pesquisa, através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), pela concessão de bolsa de Iniciação Científica para Anizio Honorato Godoi Neto.

### **Referências**

ALVES, J. M. B.; SILVA, E. M. DA; SOBRAL, S. S.; BARBOSA, B. S.; LIRA, M. A. T. 2017. Eventos Extremos Diários de Chuva no Nordeste do Brasil e Características Atmosféricas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 2, p. 227-233.

ANA, Agência Nacional de Águas (Brasil). 2013. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013 - Brasília: ANA*, 432p.

ANDRADE, A. 2006. Análise harmônica no estudo das chuvas no Município de Catolé do Rocha-PB. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 6, n. 1, p. 56-58.

ANDRADE, A. R. S. DE; GUERRA, H. DE C.; SANTOS, G. R. DOS. 1997. Análise harmônica das chuvas no município de Catolé de Rocha - PB. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Anais...Campina Grande: UFPB. CD-ROM.

ASSIS, F. N. 1996 *Aplicações da Estatística à Climatologia: Teoria e prática*. Ed. Universitária/UFPel. 161p.

BOSCARIOLI, C. 2008. Análise de Agrupamentos baseada na topologia dos Dados e em Mapas Auto-organizáveis. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado, São Paulo, 118p.

BRITO, B. M.; LEVIT, V.; FEDOROVA, N.; MOLION, L. C. B.; TENÓRIO, R. S.; RODRIGUES, R. N.; SILVA, B. F. P. 2011. Análise do comportamento das trovoadas no estado de Alagoas, previsão à curto prazo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, p. 243-256.

BUSSAB, W. de O.; MORETTIN, P.A. 2004. *Estatística básica*. 6.ed. São Paulo: Saraiva, 540p.

CAVALCANTI, I. F. A. 2012. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21<sup>st</sup> century. *Atmospheric Research*, v. 118, p. 27-40.

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS, F. J. M. 2007. *Análise multivariada*. São Paulo: Atlas, 540p.

COSTA, A. S.; OLIVEIRA, V. G.; PEREIRA, A. R.; PBORGES, P. F.; SOUTO ARAÚJO, L. S. 2015. Estudo do clima na região do brejo paraibano utilizando técnicas de séries temporais, para previsão com o modelo Sarima. *Gaia Scientia*, v. 9, n. 1, p. 127-133.

DANTAS NETO, F. S.; MELO, S. B.; SOBRINHO, J. E.; FERREIRA, R. C. 2005. Análise harmônica da chuva média mensal para o município de Assu/RN. In: congresso brasileiro de agrometeorologia, XIV, Campinas-SP. Anais... Campinas: SB Agro.

DINIZ, G. B. 2002. Preditores visando a obtenção de um modelo de previsão climática de



temperaturas máxima e mínima para regiões homogêneas do Rio Grande do Sul. Tese Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRS, Porto Alegre, RS, 147p.

FERREIRA, D. F. 2008. Estatística Multivariada. 1. ed. Lavras: Editora UFLA, 662p.

FERREIRA, D. F. 2003. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: 45ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria. São Carlos, UFSCar. Anais... São Carlos: SP, pp. 255-258.

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E. D.; LIMA, P. R. S. R. 2005. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 40, n. 4, p. 311-322.

FREITAS, M. A. S. 2005. Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Áridas. *Revista Tecnologia*, v. Suplem, p. 84-95.

FREITAS, S. M.; PRATA, B. A. 2007. Uma nova abordagem para a análise de agrupamento com uma aplicação em agronomia. *12º Seagro*.

GIACOMINO, A. et al. 2011. The role of chemometrics in single and sequential extraction assays: A Review. Part II. Cluster analysis, multiple linear regression, mixture resolution, experimental design and other techniques. *Analytica Chimica Acta*, v. 2, n. 688, p. 122-139.

HAIR, J. F. et al. 2010. *Multivariate Data Analysis*. 7. ed. Pearson Prentice Hall, 593p.

HASTENRATH, S. 2012. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. *Climatic Change*, v. 112, n. 2, p. 243-251.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat>. Acesso em: 05/06/2017.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability-Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group II Report*. Cambridge Univ. Press, 86p.

LA TORRE, M. DO R. D. DE O.; CARDOSO, M. R. A. 2001. Time series analysis in epidemiology: an introduction to methodological

aspects. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 4, n. 3, p. 145-152.

LACERDA, F. F.; DIAS, H.; ASSAD, E. D.; SANTOS, A. de. A. 2009. Detecção de Sinais de Mudanças Climáticas para Algumas Localidades do Sertão do Pajeú - PE. In: XVI CBA - Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2009, Belo Horizonte. *Mudanças Climáticas, Recursos Hídricos e Energia para uma Agricultura Sustentável*, CD-ROM.

LATTIN, J. M.; DOUGLAS, C.; PAUL, E. G. 2011. *Análise de dados multivariados*. São Paulo: Cengage Learning, 455p.

MARIA, I. S. SILVA; EDNALDO, C. G.; MARCELO, T. 2008. Previsão da temperatura média mensal de Uberlândia, MG, com modelos de séries temporais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 5, p. 1807-1929.

MEIRELES, A. C. M.; OLIVEIRA, L. J. 2011. Sustentabilidade do modelo agrícola da bacia do riacho Faé *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 1, p. 84-91.

MINGOTI, S. A. 2007. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1ª reimpressão, 297p.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. 2002. *Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro*. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 17, n. 1, p. 1-10.

NASCIMENTO, J. V. 2014. Física e meio ambiente: uma análise harmônica de dados pluviométricos. Monografia, Universidade Estadual da Paraíba-UEPB, Campina Grande, PB, 27p.

NÓBREGA, J. N. 2012. Eventos extremos de precipitação nas mesorregiões do estado da Paraíba e suas relações com a tsm dos oceanos atlântico e pacífico. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Centro de Tecnologia e Recurso Naturais/Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Campina Grande: UFCG, 65p.

NYS, E. D.; ENGLE, N. 2014. Living with the semi-arid and proactive drought management in Northeast Brazil: a new perspective. Washington, DC: World Bank Group. Available from:

<http://www.worldbank.org/pt/country/brazil/brief/brazil-publications-agua-brasil-series-water>.

OBREGÓN, G.; MARENGO, J. A. 2007. Caracterização do clima do Século XX no Brasil: Tendências de chuvas e temperaturas médias e extremas. Relatório 2, Ministério do Meio Ambiente - Mma, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – Sbf, Diretoria de Conservação Da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Sub-projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, 91p.

OLIVEIRA, F. M. DE; LIRA, V. M. DE; DANTAS, R. T.; SOUZA, W. M. DE. 2006. Variabilidade temporal da precipitação em municípios localizados em diferentes sub-regiões do estado de Pernambuco. *Caminhos de Geografia Uberlândia* v. 6, n. 19, p. 175-184.

OLIVEIRA, P. T.; SILVA, C. M. S.; LIMA, K. C. 2014. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events Northeast Brazil. *Atmospheric Science Letters*, v. 15, p. 73-78.

RAO, V. B.; HADA, K. 1990. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the southern oscillations. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 2, p. 81-91.

RODRIGUEZ, R. D. G.; SINGH, V. P.; PRUSKI, F. F.; CALEGARIO, A. T. 2015. Using entropy theory to improve the definition of homogeneous regions in the semi-arid region of Brazil. *Hydrological Sciences Journal*, v. 7, p. 2096-2109.

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. 2016. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 1, p. 64-73.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. 2005. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens landsat 5 – tm. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 20, n. 2, p. 243-252.

SILVA, M. I. S.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. 2008. Previsão da temperatura

média mensal de Uberlândia, MG, com modelos de séries temporais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, p. 480-485.

SILVA, R. O. B. 2013. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica no estado de Pernambuco. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Recife, 95p.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; BOTTEGA, E. L. 2011. Variabilidade espacial da precipitação pluviométrica para o Estado do Espírito Santo utilizando métodos multivariados. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 6, n. 4, p. 703-790.

SILVA, V. P. R. 2004. On climate variability in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 58, n. 4, p. 575-596.

SILVA, V. P. R.; CAVALCANTI, E. P.; NASCIMENTO, M. G. 2003. Análises da precipitação pluvial no Estado da Paraíba com base na teoria da entropia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, n. 2, p. 269-274.

SOUSA, A. B.; SILVA, D. F. 2013. Causas climáticas da variabilidade pluviométrica e tendências climáticas na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (CE). *Caminhos de Geografia*, v. 14, n. 46, p. 101-117.

WANDERLEY, H. S.; SEDIYAMA, G. C.; JUSTINO, F. B.; ALENCAR, L. P.; DELGADO, R. C. 2013. Variabilidade da precipitação no Sertão do São Francisco, estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 7, p. 790-795.

WARD, J. H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, v. 58, p. 236-244.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, pp. 319-44.