

UTILIZAÇÃO DA SÉRIE DE FOURIER PARA CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DOS MUNICÍPIOS DE LAGOA SECA-PB E ALAGOA NOVA-PB

JOELMA VIEIRA DO NASCIMENTO DUARTE¹; JOSÉ FIDELES FILHO²; DERMEVAL ARAÚJO FURTADO³; VALQUIRIA CORDEIRO DA SILVA⁴; PAULO ROBERTO MEGNA FRANCISCO⁵

¹Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande – Rua Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP: 58429-900, Campina Grande – PB, Brasil. E-mail: joelmavnduarte@hotmail.com

²Departamento de Física, Universidade Estadual da Paraíba – Rua Baraúnas, 351, Bodocongó, CEP: 58429-500, Campina Grande – PB, Brasil. E-mail: fidelesfilho@uol.com.br

³Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande – Rua Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP: 58429-900, Campina Grande – PB, Brasil. E-mail: araujodermeval@gmail.com

⁴Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande – Rua Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP: 58429-900, Campina Grande – PB, Brasil. E-mail: valquiriacordeiro1@gmail.com

⁵Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande – Rua Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP: 58429-900, Campina Grande – PB, Brasil. E-mail: paulomegna@gmail.com

RESUMO: No semiárido do estado da Paraíba, as estiagens prolongadas têm ocasionado mudanças do regime hidrológico, perdas na agricultura, ameaça à biodiversidade, além de gerar impactos no aspecto social, econômico e ambiental. A pesquisa teve como objetivo caracterizar o regime pluvial de dois municípios do Agreste Paraibano, por meio da série de Fourier, utilizando dados pluviométricos provenientes de séries históricas não inferiores há 30 anos. Para os municípios do Agreste, na análise anual ocorreu a presença de um intervalo entre dois picos de mínimo e dois picos de máximo consecutivos a cada doze anos, e o intervalo entre um pico de mínimo e um de máximo, ocorrendo a cada cinco anos levando em consideração os dois municípios, apresentando, no mês de maio, um veranico.

Palavras-chaves: Estiagem, Séries temporais, Pluviometria.

USE OF THE FOURIER SERIES FOR PLUVIOMETRIC CHARACTERIZATION OF THE COUNTIES LAGOA SECA-PB AND ALAGOA NOVA-PB

ABSTRACT: In the semiarid region of the state of Paraíba, prolonged droughts have caused changes of the hydrological regime, losses in agriculture, threats to biodiversity, and generate impacts on the social, economic and environmental aspect. The objective of this research was to characterize the pluvial regime of two municipalities in the Agreste region of Paraíba, using the Fourier series, using rainfall data from historical series not inferior to 30 years ago. For the Agreste municipalities, the annual analysis showed the presence of an interval between two peaks of minimum and two consecutive maximum peaks every twelve years, and the interval between a peak of minimum and a peak, occurring every four years, presenting, in the month of May, a summer.

Keywords: Drought, Time series, Rainfall.

1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento indispensável à vida e, por isso, constitui um problema social em diversos países, principalmente em razão do crescimento populacional e da má utilização deste recurso. A maior parte da região Nordeste do Brasil se situa dentro da

zona semiárida, e enfrenta problemas que afetam os ecossistemas naturais, decorrentes das secas periódicas, acarretando, também, problemas de cunho econômico, social e ambiental (ALVES SOBRINHO et al., 2015).

A precipitação pluvial é um elemento climático que tem influência direta nas demais variáveis que compõem o meio ambiente,

sendo de suma importância no desenvolvimento da fauna e da flora que compõe um ecossistema, portanto, torna-se necessário, conhecer ou estimar as precipitações de cada região, como forma de amenizar os efeitos da estiagem (ALMEIDA et al., 2010).

A série de Fourier foi desenvolvida como subsídio matemático ao estudo da transferência de calor, porém sua aplicação estendeu-se a outros ramos, como a física, engenharia e matemática (RICIERI, 1988), permitindo aos profissionais realizarem algumas previsões, como riscos de investimentos nas bolsas de valores, comportamentos de partículas em laboratórios, análises de temperatura atmosférica e precipitações pluviais (DUARTE, 2017).

Os fenômenos e as grandezas físicas presentes na atmosfera terrestre, por apresentarem caráter de periodicidade, podem ser descritos com o uso das séries de Fourier, a exemplo das precipitações em suas variações sazonais, radiação no topo da atmosfera, padrões de vento, temperatura e umidade do ar (AYOADE, 2002). Apesar da existência de estudos acerca da periodicidade das precipitações pluviais, torna-se necessário ampliar seus estudos, principalmente na região do semiárido e Agreste Paraibano, para uma nova avaliação de sua periodicidade e sua consequência no meio ambiente da região

devido às mudanças climáticas ocorridas (AMARAL, 1968; GARCEZ, 1974; AYOADE, 2002).

Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar os dados pluviométricos dos municípios de Alagoa Nova e Lagoa Seca, localizadas no Agreste Paraibano, região semiárida do Estado utilizando a série de Fourier aplicada a séries históricas de dados pluviométricos dos referidos municípios com dados não inferiores a trinta anos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é composta pelos municípios de Lagoa Seca e Alagoa Nova, localizados na região do Agreste do estado da Paraíba, região da Chapada da Borborema e zona de transição entre o Cariri e o Litoral (OLIVEIRA, SILVA e LIMA, 2014), onde o índice pluviométrico varia de 700 a 1000 $\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$, devido principalmente a alta altitude (540 m), sendo o clima tropical quente-úmido, com temperatura média anual de 26 °C (ALMEIDA et al., 2010).

Em algumas regiões, existem pequenas áreas úmidas e brejos, onde se desenvolvem atividades agrícolas, conforme Farias et al. (2014). A área ocupada pelo Agreste situa-se numa estreita faixa, paralela à costa, conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1. Localização da área de estudo



Fonte: Farias et al. (2014).

Os dados pluviométricos utilizados foram cedidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs), pela Empresa Paraibana de Pesquisa Agropecuária da Paraíba (EMEPA), pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e obtidos por meio dos Anais da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) por meio de séries históricas de dados pluviométricos das referidas regiões, com dados não inferiores a trinta anos.

Os dados foram tabulados em planilha eletrônica e normalizados e homogeneizados, em seguida foram determinados os coeficientes de Fourier para os dados pluviométricos dos municípios em estudo. Sendo posteriormente determinada a variância e a variância acumulada.

Em seguida foi determinada a contribuição de cada harmônico na série de Fourier, bem como o seu intervalo de significância no modelo obtido, de forma a evidenciar a eficácia do método para caracterizar o regime pluvial. Ao final da análise, foram gerados gráficos e tabelas dos comportamentos anuais da periodicidade da precipitação pluvial de forma a retratar o comportamento da precipitação pluvial nas regiões estudadas.

A Análise de Fourier tem como objetivo aproximar uma função $f(t)$ por uma combinação linear de componentes senoidais, cada uma com dada frequência (MORETTIN, 2014). O conjunto $\{w_n(t) = e^{int}, n = 0, \pm 1, \dots\}$ de funções ortogonais de período 2π , forma a base para a Análise de Fourier.

De acordo com Conrad e Pollak (1950), a análise de Fourier pode ser obtida considerando as séries trigonométricas conforme a Equação 1.

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(p_n \cos\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) + q_n \operatorname{sen}\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) \right) \quad (1)$$

Observa-se que todas as parcelas são periódicas em T e no conjunto de todos os valores possíveis de x , para os quais a Equação (1) converge, define-se uma função periódica

também de período T . A essa série, denomina-se Série de Fourier e pode ser escrita conforme a Equação 2.

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(p_n \cos\frac{n\pi x}{T} + q_n \operatorname{sen}\frac{n\pi x}{T} \right) \quad (2)$$

Sabe-se que os índices a_0, p_n e q_n são os coeficientes de Fourier e sua determinação, ao fazer uso das relações de ortogonalidade, possibilita a representação da função em questão na forma da Equação (2).

Considerando que a Equação (2) possui um período fundamental T , tem-se que sua frequência fundamental é dada por $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$, assim, a Equação (2) pode ser escrita conforme a Equação 3.

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(p_n \cos(n\omega_0 x) + q_n \operatorname{sen}(n\omega_0 x) \right)$$

Para determinar os coeficientes de Fourier, deve-se considerar as seguintes relações descritas conforme as Equações 4, 5 e 6.

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) dx \quad (4)$$

$$p_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \cos(n\omega_0 x) dx \quad (5)$$

e

$$q_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \operatorname{sen}(n\omega_0 x) dx \quad (6)$$

Ainda segundo Conrad e Pollak (1950), para facilitar os cálculos, a Equação (2) pode

ser reescrita da forma apresentada na Equação 7.

$$Y_t = a_0 + \sum_{n=1}^k \left[p_n \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + q_n \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \right] \quad (7)$$

Assim, pelas relações de ortogonalidade, considera-se a_0 , p_n e q_n os coeficientes de Fourier, sendo descritos nas Equações 8, 9 e 10.

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N Y_t \quad (8)$$

e

$$p_n = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N Y_t \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \quad (9)$$

Onde: a_k é dada por:

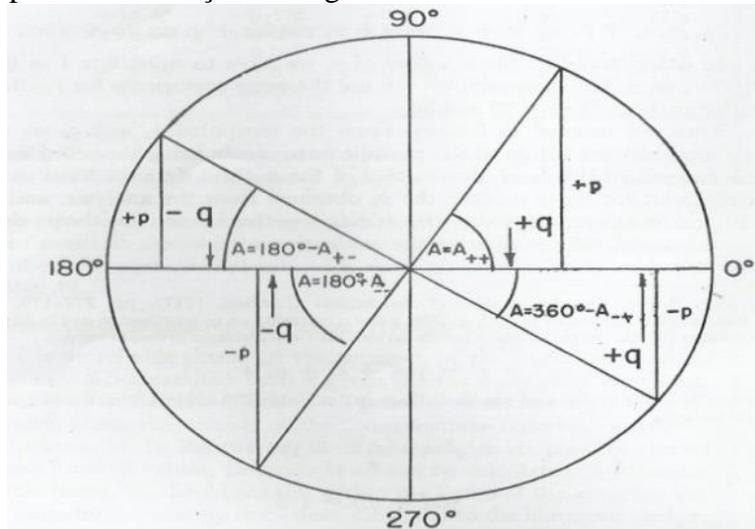
$$a_k = \sqrt{p_n^2 + q_n^2} \quad (10)$$

Sendo: Y_t os valores estimados; a_0 as médias dos valores observados; p_n e q_n os coeficientes ortogonais das ondas senoidais; a_k a amplitude da onda; A_k o ângulo de fase; T o período da onda (1, 2, 3, 4,...); K o número de ondas; N o número de observações da série e t é o tempo.

Faz-se necessário o ajuste dos dados pluviométricos em ambas as amostras aos meses de 30 dias, visto que alguns meses possuem 31 dias, o mês fevereiro possui 28 dias e em anos bissextos, possui 29 dias. Tal ajuste foi realizado multiplicando-se o valor da precipitação mensal por 30/31, nos meses de 31 dias; para os anos bissextos, em fevereiro multiplica-se a precipitação por 30/29.

Obtidos os ângulos de fase, para que os harmônicos não fiquem defasados e origem valores negativos, é necessário fazer um ajuste que pode ser observado na Figura 2 (CONRAD; POLLAK, 1950).

Figura 2. Diagrama para determinação do ângulo de fase. Fonte: Conrad e Pollak (1950).



Para um melhor ajuste dos dados, afim de não se obter valores muito elevados, divide-se as amplitudes pelo intervalo de tempo da série, isto é, o número de anos ao qual se refere à série histórica em questão.

Previamente à utilização dos dados na aplicação da análise harmônica, é importante testar sua homogeneidade de variâncias e normalidade. Conforme Amaral (1968), as precipitações mensais não se distribuem

normalmente, fazendo com que as médias não sejam representativas. Sendo assim, uma prévia transformação dos dados a fim de normalizar a distribuição e homogeneizar as variâncias foi necessária.

Se as ondas não apresentarem normalidade e homogeneização, torna-se necessária a realização de uma transformação dos dados e conforme Cardoso (2010) definida pela Equação 11.

$$z = x^{1-a} \quad (11)$$

Sendo: a o coeficiente de indeterminação da reta formada pelos dados homogeneizados.

Dispondo de um conjunto de dados os quais possam ser obtidas suas médias, \bar{X} , e o desvio padrão, se os pares desses valores estiverem dispostos ao longo de uma reta paralela ao eixo das abscissas, considera-se que a média e o desvio padrão são independentes. Assim, conforme Amaral (1968) descrito nas Equações 12 e 13.

$$\sigma_z^2 = [Z'(\bar{X})]^2 \sigma_x^2 \quad (12)$$

$$\sigma_z = Z'(\bar{X})\sigma_x = B \quad (13)$$

Sendo: Z' o valor obtido pela transformação e B uma constante, a relação entre o desvio padrão e a média é da forma descrita nas Equações 14 e 15.

$$\sigma_x = B\bar{X}^a \quad (14)$$

Considerando a equação de regressão da reta que descreve a transformação, ou seja:

$$Y = aX + b \quad (15)$$

Tem-se o valor de a na Equação (11), como sendo um número real, de mesmo valor

igual ao encontrado após aplicação da Equação (15). O valor Y é obtido do logaritmo do desvio padrão do total das precipitações obtidas durante o mês de janeiro, fevereiro, março, e assim, sucessivamente; e valor X é obtido pelo logaritmo da média das precipitações nos referidos meses.

De posse dos dados obtidos após a transformação, realizou-se uma nova análise harmônica a fim de obter novos valores para p_n e q_n , e, conseqüentemente, novos valores para as amplitudes, ângulos de fase e novas configurações para as ondas que representam o modelo.

Uma vez que possuindo dados de precipitações referentes a 12 meses, obtém-se cinco ondas senoidais (com períodos de 12, 6, 4, 12/5 e 2 meses), que oscilam acima e abaixo dos valores de precipitação média mensal reduzidas a 30 dias, o que corrobora com Amaral (1968) e Andrade et al. (2006).

Posteriormente, entre essas cinco ondas, três foram escolhidas por apresentarem maior significância. A fim de testar a significância das harmônicas obtidas, foram realizados os testes estatísticos de análise de variância e o teste de Brunt.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Coeficientes de Fourier, Amplitudes, Fases, Variância e Variância acumulada para os cinco harmônicos obtidos na análise anual estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2, correspondendo aos valores obtidos pela análise de Fourier para os harmônicos dos municípios de Alagoa Nova-PB e Lagoa Seca-PB, respectivamente.

Tabela 1. Coeficientes de Fourier (P, Q), Amplitudes (a), Fases (A), Variância (Var), Variância acumulada (Var acum) para análise anual do município de Alagoa Nova-

I	1	2	3	4	5
P_i	-40,5	-7,4	38,9	-28,9	42,4
Q_i	-142,1	171,6	-80,9	42,9	-20,6
a_i	147,7	171,7	89,7	51,7	47,2
A_i	195,9	177,5	205,7	359,7	244,1
Var_i	32,83	44,23	12,22	4,05	3,32
Var_i acum.(%)	32,83	77,06	89,28	93,33	96,65

Tabela 2. Coeficientes de Fourier (P, Q), Amplitudes (a), Fases (A), Variância (Var), Variância acumulada (Var acum) para análise anual do município de Lagoa Seca-PB

I	1	2	3	4	5
P_i	52,3	18,7	22,5	-5,0	15,9
Q_i	-29,0	28,9	5,4	61,4	46,9
a_i	59,8	34,4	23,1	61,6	49,6
A_i	240,9	32,9	76,5	184,7	18,7
Var_i	25,51	8,44	3,85	27,12	17,53
Var_i acum. (%)	25,51	33,95	37,80	64,92	82,45

Verifica-se na Tabela 1 que o segundo harmônico teve maior contribuição no modelo da análise, e a variância acumulada nos cinco harmônicos totalizam 96,65%. Na Tabela 2, observa-se que o primeiro harmônico é mais significativo, e a variância nos cinco harmônicos totalizam 82,45%. Tal fato ocorre, porque para o município de Alagoa Nova-PB, que tem 98 anos de aferições, o número de harmônicos gerados pela Análise de Fourier é 48.

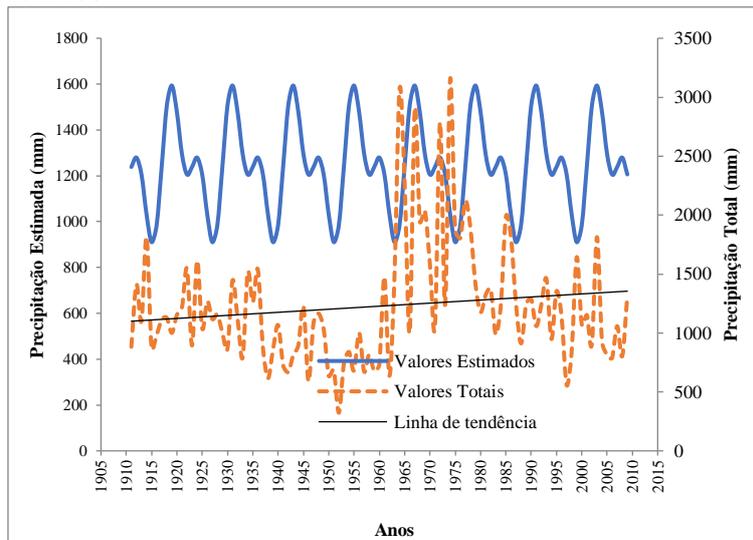
Para Lagoa Seca-PB, que tem 32 anos de aferições, a análise gerou 15 harmônicos. Apesar do grande número de harmônicos gerados, observou-se que apenas os cinco primeiros são os que melhor descrevem o modelo, tendo os demais harmônicos uma menor contribuição, lhes conferindo as porcentagens faltantes para completar os 100%

da variância acumulada, tal qual ocorreu em Amaral (1968), no qual o referido autor utilizou a análise harmônica na base pêntada para descrever o perfil pluviométrico mensal em Pelotas-RS, do período de 1900 a 1951.

Na Figura 3, estão apresentadas as precipitações totais anuais no eixo direito das ordenadas direita e estimada a partir dos cinco primeiros harmônicos da série de Fourier, no eixo esquerdo das ordenadas e a linha de tendência das precipitações em função do tempo em anos para o município de Alagoa Nova-PB.

Verifica-se que, o intervalo entre dois picos de mínimo e máximo ocorrem a cada doze anos, e os intervalos entre os picos de mínimo e dois picos de máximo ocorrem a cada cinco anos.

Figura 3. Precipitação total anual e estimada do município de Alagoa Nova-PB: composição dos cinco harmônicos.



Dessa forma, verifica-se na linha de valores estimados, que se no ano de 1999 ocorreu um pico de mínimo, e o próximo pico de mínimo ocorreu em 2011. Verifica-se a provável ocorrência de estiagens prolongadas.

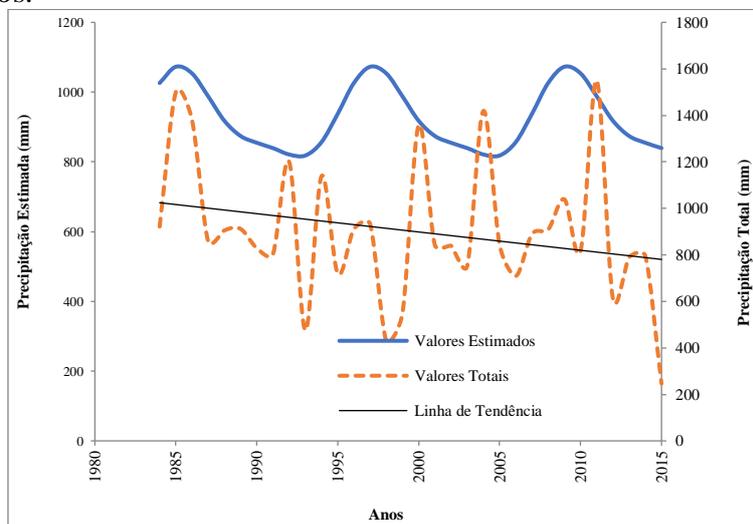
Assim, se o pico de máximo ocorreu em 2003, o próximo pico de máximo ocorreu em 2015. Por sua vez, observa-se ainda a ocorrência de picos intermediários, e conforme observa-se na Figura 8, estima-se que provavelmente em 2018 ocorram precipitações totais anuais em torno de 1.205mm.

Observa-se também que, a linha de tendência é crescente em função do tempo, e que mesmo as chuvas sendo mal distribuídas

ao longo do tempo e do espaço, há um crescimento linear das precipitações totais ao longo do tempo.

Na Figura 4, estão apresentadas as precipitações totais anuais no eixo das abscissas direitas, e estimada à partir do primeiro e segundo harmônico da série de Fourier, no eixo das abscissas esquerda e a linha de tendência das precipitações em função do tempo em anos para o município de Lagoa Seca. Verifica-se que, os picos de mínimo e máximo ocorrem a cada doze anos consecutivos, e os intervalos entre os picos de mínimo e máximo ocorrem a cada cinco anos.

Figura 4. Precipitação total anual e estimada do município de Lagoa Seca-PB: composição dos cinco harmônicos.



Dessa forma, observa-se que se no ano de 2005 ocorreu um pico de mínimo, e o próximo pico de mínimo ocorreu em 2017. Verifica-se também a provável ocorrência de secas prolongadas. Assim, se o pico de máximo ocorreu em 2009, o próximo pico de máximo poderá ocorrer provavelmente em 2021. Por sua vez, os picos de mínimo e máximo alternam-se a cada a cada cinco anos, levando em consideração os dois municípios.

Observa-se também que, a linha de tendência é decrescente em função do tempo, o que significa dizer que, ao passo em que as chuvas são mal distribuídas ao longo do tempo e do espaço, ainda ocorre um decréscimo linear das precipitações totais ao longo do tempo, o que pode ser explicado pelo fato da série histórica utilizada para Lagoa Seca seja compreendida entre os anos de 1984 a 2015, sendo esta inferior à série histórica do município de Alagoa Nova.

Em ambos os municípios, verificou-se a presença de um veranico durante o mês de maio, sendo este mais intenso no município de Lagoa Seca-PB, corroborando com os estudos de Oliveira, Silva e Lima, (2014).

O uso da análise harmônica por meio das séries de Fourier também pode ser evidenciado em Sousa et al. (2015), onde objetivou-se identificar a presença de variações cíclicas e sazonais nos índices do efeito do multicaminho em estações GPS (Global Positioning System) de monitoramento contínuo analisando correlogramas e periodogramas de Fourier.

Alves et al. (2013) também fizeram uso do referido método nas análises de séries

temporais dos índices MP1 e MP2 em multicaminho em estações de monitoramento contínuo, obtendo êxito em seu trabalho.

4 CONCLUSÕES

Conclui-se que para a análise anual, os cinco primeiros harmônicos são os que melhor descrevem o modelo, e a variância acumulada dos cinco primeiros harmônicos dos referidos municípios variam entre 79 a 96%, conferindo uma alta confiabilidade do modelo no que se refere as precipitações anuais.

Para os dois municípios do Agreste, o intervalo entre dois picos de mínimo e dois picos de máximo ocorrem a cada doze anos, e o intervalo entre um pico de mínimo e um pico de máximo ocorre a cada cinco anos, levando em consideração os dois municípios.

Verifica-se a ocorrência de um veranico (período de estiagem dentro da época chuvosa) no mês de maio, sendo este de maior intensidade no município de Lagoa Seca e para o município de Alagoa Nova apresenta-se um pouco mais discreto.

Os dois municípios em estudo apresentam um período de estiagem prolongada, e tal fato afeta diretamente o regime hidrológico.

5 AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela oportunidade de realização desse estudo a partir de financiamento de Bolsa de Pesquisa.

6 REFERÊNCIAS

ALVES, D. B. M.; SOUZA, E. M.; KANESHIRO, V. Y. L; SOUZA, J. S. Análise de séries temporais de multicaminho em estações de monitoramento contínuo. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, PR, v. 19, p. 353-373, 2013.

ALVES SOBRINHO, R.; GATTI, F.; ZAMPARONI, C. A. G. P. O Clima e a agricultura. *In*: ENCONTRO DE GEOGRAFIA DE MATO GROSSO; SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, 1., 2015, Cuiabá. **Anais [...]**. Cuiabá: Editora, 2015. p. 6681-6692.

AMARAL, E. Análise harmônica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 3, p. 7-43, 1968.

ANDRADE, A. R. S.; PAIXÃO, F. A. R.; LEÃO, A. B.; AMARAL, I. G. Análise harmônica no estudo das chuvas no Município de Catolé do Rocha – PB. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, São Cristóvão, SE, v. 6, p. 56-58, 2006.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

CARDOSO, D. S. **Análise harmônica dos totais de chuva mensais de regiões homogêneas do Estado do Rio Grande do Sul**. 2010. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2010.

CONRAD, V.; POLLAK, L. W. **Methods in climatology**. Cambridge: Harvard University Press, 1950.

DUARTE, J. V. N. **Caracterização do regime pluvial do semiárido paraibano utilizando série de Fourier**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017.

FARIAS, B. A.; OLIVEIRA, T. D.; OLIVEIRA, G. S.; VALDEVINO, D. S. A utilização de imagens SRTM na obtenção de dados altimétricos para a mesorregião do Agreste paraibano, através de software livre QGIS. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DE GEOINFORMAÇÃO, 5., 2014, Recife. **Anais [...]**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2014. p. 597-601.

GARCEZ, L. N. **Hidrologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1974.

MORETTIN, P. A. **Ondas e ondaletas: da análise de Fourier à análise de ondaletas de séries temporais**. São Paulo: EDUSP, 2014.

OLIVEIRA, R. C. S.; MEDEIROS, R. M.; COSTA NETO, F. A.; GOMES FILHO, M. F. Estudo das oscilações da temperatura máxima do ar e precipitação em Lagoa Seca-PB. *In*: WORKSHOP DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE PERNAMBUCO; WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E BIODIVERSIDADE, 1., 2014, Recife. **Anais [...]**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2014. p. 64-69.

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

RICIERI, A. P. **Construindo a série de Fourier: matemática aplicada na vida**. São Paulo, SP: Edições Prandiano, 1988.

SILVA, L.; ALMEIDA, H. A.; COSTA FILHO, J. F. Captação de água de chuvas na zona rural: uma alternativa para a convivência no semiárido nordestino. *In*: SIMPÓSIO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVAS NO SEMIÁRIDO, 5., 2005, Teresina. **Anais [...]**. Teresina, PI, 2005.

SOUSA, E. M.; ALVES, D. B. M; SCHUMACHER F. L. Harmonic Analysis of Multipath Index Time Series in GPS Stations. **Tendências em Matemática Aplicada e Computacional**, São Carlos, SP, v. 16, p. 71-78, 2015.