



Universidade
ESTADUAL DA PARAÍBA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA

JOELMA VIEIRA DO NASCIMENTO

FÍSICA E MEIO AMBIENTE: UMA ANÁLISE HARMÔNICA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

CAMPINA GRANDE
2014

JOELMA VIEIRA DO NASCIMENTO

FÍSICA E MEIO AMBIENTE: UMA ANÁLISE HARMÔNICA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Licenciatura Plena em Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. José Fideles Filho

**CAMPINA GRANDE
2014**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

N244f Nascimento, Joelma Vieira do.
Física e meio ambiente [manuscrito] : uma análise harmônica de dados pluviométricos / Joelma Vieira do Nascimento. - 2014.
27 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) -
Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e
Tecnologia, 2014.

"Orientação: Prof. Dr. José Fideles Filho, Departamento de Física".

1. Precipitação pluvial. 2. Série de Fourier. 3. Análise harmônica. I. Título.

21. ed. CDD 551.6

JOELMA VIEIRA DO NASCIMENTO

FÍSICA E MEIO AMBIENTE: UMA ANÁLISE HARMÔNICA DE DADOS
PLUVIOMÉTRICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Licenciatura Plena em Física da
Universidade Estadual da Paraíba, como
requisito parcial à obtenção do título de
Licenciado em Física.

Aprovada em: 26/11/2014.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Fideles Filho (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dra. Morgana Lígia de Farias Freire
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Mc. Elialdo Andriola Machado
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Ao meu filho Gabriel, pelas madrugadas em claro, me fazendo companhia durante meus estudos e pela compreensão pela minha ausência em suas brincadeiras diárias, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela proteção diária, pela força que me foi dada nos dois últimos anos e pelo fortalecimento da fé, que não me fez desistir mesmo diante dos momentos mais difíceis.

Ao professor José Fideles Filho, pelas leituras sugeridas ao longo dessa orientação, pelos ensinamentos e pela dedicação e persistência.

À Ana Raquel Pereira de Ataíde, vice-coordenadora do curso de Licenciatura Plena em Física, por seu empenho.

Ao meu esposo Gustavo, pelo incentivo e paciência que me foram dedicados.

Aos meus pais Joel e Socorro por todo amor, apoio e conselhos que me dispensaram durante toda essa minha caminhada.

À amiga Priscilla, pelo apoio sempre constante (mesmo à distância) durante minha caminhada acadêmica.

Aos professores do Curso de Licenciatura Plena em Física da UEPB, que contribuíram ao longo de toda jornada, por meio das disciplinas e debates, para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao funcionário da UEPB, secretário da coordenação do curso, João, pela presteza e atendimento quando nos foi necessário.

Aos amigos pela compreensão por minha ausência nos passeios e reuniões de fim de semana.

Aos colegas de classe pelos momentos de amizade e apoio.

“O ciclo hidrológico é parte integrante do clima. O clima é fator determinante das características superficiais e atua na formação do solo, tipo de vegetação, tipo de relevo e sistema de drenagem. Concomitantemente, a precipitação possui uma influência sobre o clima, através de fatores físicos e biológicos.”

Geraldo L. Diniz, 2008.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3. METODOLOGIA	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
5. CONCLUSÕES	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

RESUMO

Levando-se em consideração o fato de que a Física e a Matemática têm papel fundamental na explicação de vários fenômenos ambientais e climatológicos e que estes, em sua maioria são periódicos, considera-se que as séries harmônicas podem descrevê-los bem. Este trabalho foi conduzido mediante uma análise harmônica aplicada a dados de precipitações totais mensais ocorridas nos municípios de Lagoa Seca – PB e Soledade-PB. Foram utilizados registros pluviométricos dos locais, referentes a 28 e 71 anos, respectivamente. A análise foi realizada pela expansão em série de Fourier de uma função periódica e definida para os intervalos mencionados. Os dados originais foram ajustados para meses de 30 dias a fim de normalizar a distribuição. Após os resultados das análises harmônicas, foram obtidas as ondas anual, semestral e quadrimestral. Também foram analisados os totais acumulados ao longo dos anos, bem como suas médias e em seguida, determinado os anos referentes às máximas e mínimas precipitações acumuladas durante o intervalo mencionado. O estudo dos coeficientes harmônicos revelou que o modelo de análise harmônica dá um bom diagnóstico acerca das precipitações mensais e anuais com ótimo desempenho na série de dados pluviais locais.

PALAVRAS-CHAVE: precipitação pluvial, série de Fourier, período.

1. INTRODUÇÃO

Levando-se em consideração que a Física possibilita o conhecimento das leis gerais da natureza, pode-se compreender que o Universo é composto por um conjunto complexo de acontecimentos independentes e ao mesmo tempo interligados entre si.

Pode-se citar como aplicação importante da Física na atualidade, o entendimento dos processos físicos que determinam o funcionamento do meio ambiente.

É sabido que a relação entre as Ciências Naturais e o meio ambiente é complexa devido ao fato de que o meio ambiente está diretamente relacionado com as atitudes e destino do homem, tornando-o o seu principal agente preservador ou degradador. Uma vez que a Terra encontra-se em um processo crescente de desestabilização ecológica e climática, vários eventos extremos estão ocorrendo de forma desordenada ao longo do planeta e isso possibilita a instalação de um padrão de movimentação de ações e programas promovidos por várias instituições e com isso diversas áreas de estudo tem tido um papel muito importante nesse processo.

Vários fenômenos ocorridos na nossa atmosfera, por apresentarem um caráter quase periódico, podem ser descritos por leis da Física, a exemplo das precipitações em suas variações sazonais, radiação que chega ao topo da atmosfera, padrões de vento, temperatura, umidade do ar, etc.

Conforme Ayoade (2002), as condições prevaletentes de um determinado lugar são primordiais para a descrição de suas características atmosféricas resultantes das combinações de algumas grandezas físicas e tais condições são denominadas de “condições do tempo”. Essas, por sua vez, consideram a frequência de alguns fenômenos meteorológicos bem como as condições médias do tempo.

O tempo varia em curto período cronológico, por exemplo, um dia. O clima, entretanto, varia de um local para outro, principalmente devido às variações da intensidade, quantidade e distribuição dos elementos climáticos, entre os quais, os mais simples de serem obtidos, e mais importantes, são a temperatura e a precipitação.(PEREIRA et al. (2002).

A chuva é um elemento climático fundamental. Pois, tem influência direta na temperatura do ar, na radiação solar, umidade atmosférica, e é fundamental para o crescimento das plantas devido ao seu papel na fotossíntese (BASTOS et al. 1997).

Sendo assim, conforme afirma Diniz (2008), o estudo da vulnerabilidade hidrológica em relação às mudanças climáticas desempenha um papel de extrema importância, visto que essas

mudanças além de alterar as vazões dos rios e potencial hídrico de uma região, também alteram a fauna e a flora, fazendo com que ao longo do tempo, outros ambientes sejam gerados em decorrência de uma maior ou menor precipitação e, conseqüentemente, temperatura, umidade do ar, etc.

Esse estudo tem como objetivo aplicar a Análise de Fourier na modelagem da precipitação em dois municípios da Paraíba, visto que essa é uma conveniente técnica a ser usada na descrição de fenômenos periódicos ou quase periódicos, pois, permite descrever, no domínio da frequência, uma série de dados ordenados no tempo e como objetivos específicos:

- Análise das precipitações médias mensais, através das séries de Fourier, ou seja, a análise das componentes harmônicas, para os municípios de Lagoa Seca-PB e Soledade-PB;
- Determinar os coeficientes da serie de Fourier para os dados pluviométricos dos dois municípios;
- Determinar a variância, a variância acumulada e a contribuição de cada harmônico na serie de Fourier, bem como o seu intervalo de confiança.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A precipitação é um processo aleatório o qual não permite uma previsão determinística com grande antecedência e suas características variam de um local para outro. Sua determinação só pode ser feita mediante uma análise estatística de uma série de dados composta por longos registros de observações ou por meio de um modelo teórico. Diniz (2008).

De acordo com Garcez (1974), a análise estatística revela a frequência com que as precipitações ocorrem numa dada magnitude e tais resultados não podem ser estendidos de uma região para outra. Pois, cada região possui características e particularidades próprias, o que as difere uma das outras.

Pode-se citar como fatores resultantes de uma série temporal, a tendência, os componentes periódicos e a aleatoriedade. Sendo assim, conforme afirma Assis et al (1996), o objetivo principal da análise harmônica é isolar as componentes periódicas dominantes que possam explicar os eventos analisados, resultando, por sua vez, formas de ondas muito complexas oriundas da adição de várias harmônicas sucessivas, diferentes em cada região-alvo.

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 de Lagoa Seca-PB e Soledade-PB. 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.

Na década de sessenta, Amaral (1968) realizou um trabalho que serviu de base para os estudos que surgiram posteriormente. Nele, foi abordada a análise harmônica na base pên-tada de elementos climáticos (precipitações mensais em Pelotas-RS, no período de 1900 a 1951), testando a estabilidade das componentes harmônicas através do método da análise de variância, abordando também os testes de normalidade e as transformações de dados, bem como seus significados.

Pode-se verificar também esse tipo de análise de séries temporais de precipitações mensais nos trabalhos de Queiroz (2001), Andrade (2006), entre outros.

Corroborando com Amaral (1968), tais autores descrevem determinado evento climatológico por um conjunto de dados que representam um somatório de exponenciais ou senóides – somatório de ondas harmônicas.

Levando-se em consideração que uma função pode ser dita periódica quando existe um número real positivo P , denominado período dessa função, o período é o comprimento do intervalo necessário para que a imagem da função se repita. Sendo assim, qualquer múltiplo inteiro positivo de P , também é considerado período dessa função e o menor valor de P que represente o intervalo necessário para a repetição da imagem é denominado período fundamental (T).

Tem-se também que a frequência de uma função periódica pode ser obtida através do inverso do seu período. Entretanto, a frequência angular trata da velocidade de deslocamento de um dado ponto em um ciclo e sua unidade é o radiano por segundo.

A combinação linear de funções periódicas de mesmo período também é periódica, com mesmo período das funções que foram combinadas.

Conforme citado anteriormente, pode-se utilizar séries harmônicas para modelar alguns parâmetros climáticos através de séries temporais. Por sua vez, conforme Diniz (2008), série temporal é uma sequência de dados obtidos em intervalos regulares, durante um determinado tempo. Na análise de uma série temporal, tem-se como intuito a modelagem do fenômeno em questão e, conseqüentemente, a descrição do seu comportamento a fim de estimar e avaliar a série, definindo suas relações de causa e efeito com fenômeno estudado.

Para isso, há um conjunto de técnicas estatísticas que podem ser usadas e que dependem do modelo definido. Dentre eles podem ser citados:

A distribuição normal - é a principal distribuição dentro da Estatística, por modelar quase todos os possíveis experimentos;

O teste de *Análise de Variância* - consiste em verificar estatisticamente se as médias de diversas variáveis são ou não diferentes entre si.

Mas, de acordo com Amaral (1968), a verdadeira variância não é conhecida. Entretanto, esta pode ser estimada com base nas observações feitas ao longo dos anos, admitindo uma estabilidade da variância.

O autor ainda afirma que na distribuição da diferença entre os quadrados de duas amplitudes, a raiz quadrada do módulo da diferença entre os quadrados das amplitudes de duas ondas harmônicas e homogêneas tem a mesma distribuição de uma amplitude.

Sendo assim, o teste de Brunt, que compara a variância residual com a variância total, não é um teste de significância, e sim, um teste de completicidade, o qual completa o teste de Análise de Variância e sua vantagem encontra-se na dispersão da determinação de todas as ondas.

3. METODOLOGIA

Caracterização da região de estudo

A pesquisa foi desenvolvida para dois municípios do estado da Paraíba, em regiões e regimes pluviométricos diferentes.

O primeiro município, Lagoa Seca-PB, com latitude 7° 10' 8" Sul e longitude 35°51'20" Oeste, localiza-se no Agreste da Borborema, possui um clima tropical úmido com temperatura média anual em torno de 22°C, sendo a mínima de 14°C e a máxima de 33°C. Enquanto que o segundo município, Soledade-PB, com latitude 7° 3' 27" Sul e longitude 36° 21' 47" Oeste, localiza-se na região do Cariri e está inserido na área de abrangência do Semiárido brasileiro; possui um clima quente e seco e nas estações chuvosas apresenta uma temperatura mínima de 18°C, e durante o verão, a temperatura máxima fica em torno de 36°C à sombra.

Dados utilizados

Utilizou-se a série de dados pluviométricos de ambos os municípios, sendo a série do município de Lagoa Seca-PB referente ao período de janeiro de 1984 a dezembro de 2012 e a série do município de Soledade-PB, referente a janeiro de 1941 a dezembro de 2012, totalizando uma série de 28 e 71 anos, respectivamente.

Modelo de Análise

Análise de Fourier

A análise harmônica/análise de Fourier pode ser obtida considerando as séries trigonométricas da forma:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2n\pi x}{T}\right). \quad (1)$$

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 da seguinte forma:

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

Sabe-se que os índices a_0 , a_n e b_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 $w_0 = \frac{2\pi}{T}$, assim, a Equação (2) pode ser escrita da forma:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(nw_0x) + b_n \operatorname{sen}(nw_0x)). \quad (3)$$

Para determinar os coeficientes de Fourier, deve-se usar:

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

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \cos(nw_0x) dx, \quad (5)$$

e

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \operatorname{sen}(nw_0x) dx. \quad (6)$$

Para facilitar os cálculos, a equação (2) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$Y_t = a_0 + \sum_i^k \left[a_n \cos \left(\frac{2\pi kt}{T} \right) + b_n \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi kt}{T} \right) \right]. \quad (7)$$

Considerando a_0 , a_n e b_n os coeficientes de Fourier. Sendo:

$$a_n = a_k \operatorname{sen} A_k, \quad (8)$$

$$b_n = a_k \operatorname{cos} A_k, \quad (9)$$

Com

$$a_k = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}. \quad (10)$$

Onde, Y_t = valores estimados; a_0 = médias dos valores observados; a_n e b_n = coeficientes ortogonais das ondas senoidais; a_k = amplitude da onda; A_k = ângulo de fase; T = período da onda (1,2,3,4,...); K = número de ondas senoidais; N = número de observações da série; t = unidade de tempo.

Fez-se necessário o ajuste dos dados pluviométricos em ambas as amostras a 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 ajustamento foi feito multiplicando-se o valor da precipitação mensal por 30/31, nos meses de 30 dias; para os anos bissextos, em fevereiro multiplica-se a precipitação por 28/30 e em anos bissextos, o valor da precipitação de fevereiro é multiplicado por 29/30.

Ainda para um melhor ajuste dos dados, dividiu-se por 28 e por 71 os valores de a_0 e das amplitudes dos municípios de Lagoa Seca-PB e Soledade-PB. Pois, os dados são referentes a um período de 28 e 71 anos, respectivamente.

Uma vez que tendo dados de precipitações referentes a 12 meses, obtém-se seis ondas senoidais (com períodos de 12, 6, 4, 2 2/5 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, dentre essas seis ondas, três foram escolhidas por apresentarem maior significância.

A fim de testar a significância das harmônicas obtidas, foram realizados os seguintes testes estatísticos: análise de variância e o teste de Brunt.

Análise de variância

De acordo Amaral (1968), devemos admitir a hipótese de que os dados de precipitações mensais são distribuídos normalmente e com a mesma variância em torno das respectivas médias. Posteriormente, Queiroz (2001) também usou essa metodologia e verificou sua veracidade. Logo, através da equação diferencial abaixo, encontramos a distribuição das amplitudes dos componentes harmônicos:

$$dP = \frac{Na}{2\sigma^2} e^{-Na^2/4\sigma^2} da . \quad (11)$$

com a = amplitude da onda; N = o período fundamental (12 meses) e σ^2 = variância.

Ao adotar o nível de confiança igual a 91% de probabilidade obtida pelo somatório das ondas mais significativas ($\alpha = 0,09$ para o caso da série de dados correspondentes ao município de Lagoa Seca-PB), o valor de a acima do qual a amplitude de uma onda com dois graus de liberdade será significativa, é dado por:

$$\int_0^a \frac{Na}{2\sigma^2} e^{-Na/4\sigma^2} da = 1 - \alpha = 0,91. \quad (12)$$

Ao integrar, encontra-se:

$$\left[-e^{-Na^2/4\sigma^2}\right]_0^a = 1 - e^{-Na^2/4\sigma^2}. \quad (13)$$

Onde:

$$\alpha = e^{-Na^2/4\sigma^2}. \quad (14)$$

Tomando,

$$a = 2\sigma \sqrt{\frac{-\log \alpha}{N}}. \quad (15)$$

Fixando α (nível de significância), pode-se calcular o valor em que a amplitude é significativa. Tem-se também que conhecendo um valor de determinada amplitude pode-se encontrar o nível de significância de ocorrência de determinado modelo, uma vez que essa amplitude seja correspondente à onda harmônica de maior ordem. Assim:

$$-\ln \alpha = Na^2/4\sigma^2. \quad (16)$$

Considerando $N=12$ tem-se:

$$-\ln \alpha = \frac{12a^2}{4\sigma^2} = \frac{3a^2}{\sigma^2}, \quad (17)$$

Tomando:

$$\alpha = e^{-\left(\frac{3a^2}{\sigma^2}\right)}. \quad (18)$$

Para o caso da série de dados referente a Soledade-PB, considera-se o nível de confiança igual a 83% e procede-se conforme o caso do município de Lagoa Seca-PB.

Sendo assim, tem-se que a probabilidade de ocorrência de um ano chuvoso ou de estiagem conforme os modelos apresentados nesse trabalho será:

$$P = 1 - \alpha . \quad (19)$$

Teste de Brunt

Considerando a variação total entre os meses como sendo:

$$\sum_{i=0}^{11} (x_i - \bar{x}) = 6(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 + a_5^2) + 12a_6. \quad (20)$$

Em Amaral (1968) e também em Pinheiro (2011) usou-se a determinação de Brunt para a variância σ^2 . Sendo assim, ao dividir por 12 e conforme os valores da amplitude encontrados neste modelo, tem-se:

$$\sigma^2_t = \frac{1}{2}(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 + a_5^2) + a_6^2. \quad (21)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O município de Lagoa Seca está inserido na microrregião do Agreste da Borborema, tem uma precipitação média de 944,4 mm, conforme Figura 1. Observa-se por esta Figura que as precipitações máximas, que representam os acúmulos pluviométricos ao longo do ano, referentes aos anos de 1985, 1992, 1994, 2000, 2004 e 2011, estão associados a um registro de 1495,6 mm, 1216,5 mm, 1374,7 mm, 1398,5 mm e 1579,8 mm, respectivamente. Ambos acima da precipitação média.

Por sua vez, as precipitações mínimas associadas aos anos de 1993, 1998 e 2012 representam um registro de 482,8 mm, 440,9 mm e 617,6 mm, respectivamente. Tais totais encontram-se abaixo do total médio acumulado para o referido município.

Assim, a Figura 1 é um complemento para o estudo das séries temporais. Uma vez que a mesma representa as médias de precipitação mensais, é plausível utilizar também os dados das precipitações totais acumuladas para realizar uma estimativa de futuros anos e seus respectivos meses de estiagem e/ou excesso de precipitação.

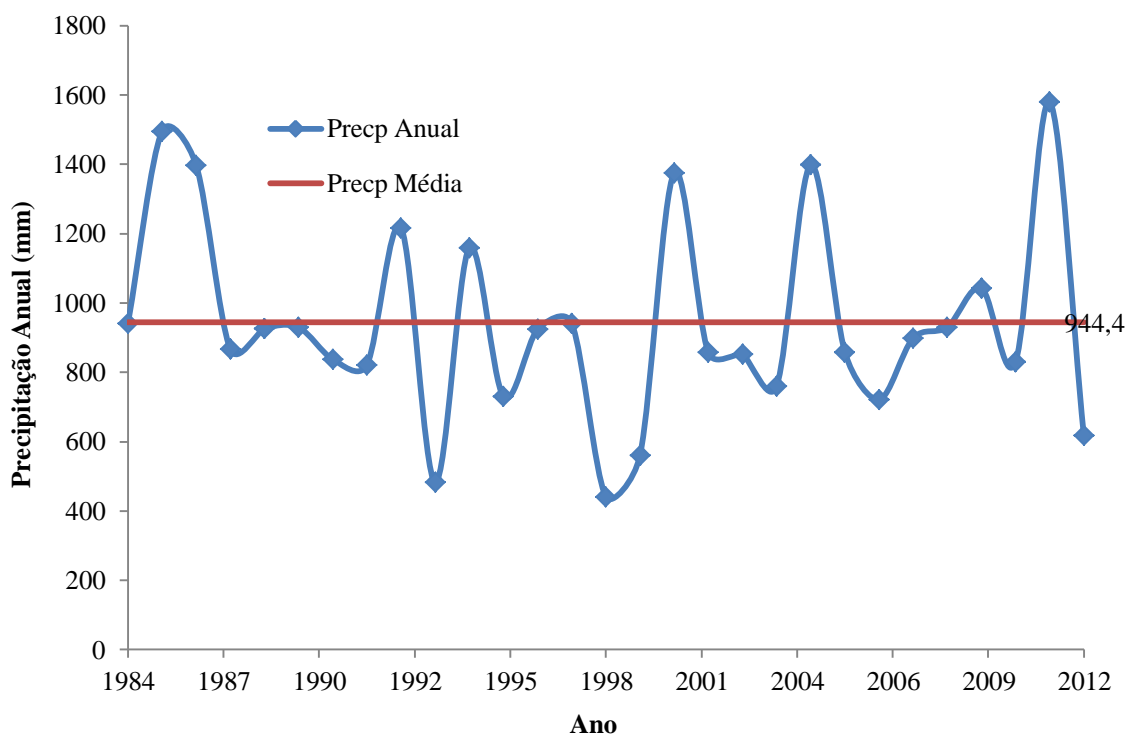


Figura 1: Variação da precipitação total anual no município de Lagoa Seca-PB e sua respectiva média ao longo dos anos representada pelas ondas.

O município de Soledade-PB está localizado na região do Cariri e possui uma média de precipitação total acumulada ao longo do ano em torno de 415 mm, conforme pode ser verificado na Figura 2. Tem-se também que as maiores precipitações ocorreram nos anos de 1972, 1974, 1985, 1989, 1994, 2000, 2008 e 2012, com 710 mm, 775 mm, 1190 mm, 697,8 mm, 706,1 mm, 682,3 mm, 728,8 mm e 972,4 mm, respectivamente, ambos acima da média do total acumulado ao longo do ano no referido município.

Entretanto, nos anos de 1953, 1958, 1993, 1998, 1999 e 2012, verifica-se as menores precipitações, sendo 106,9 mm, 129,1 mm, 91,8 mm, 122,6 mm, 141,6 mm e 197,5 mm, todos abaixo da média.

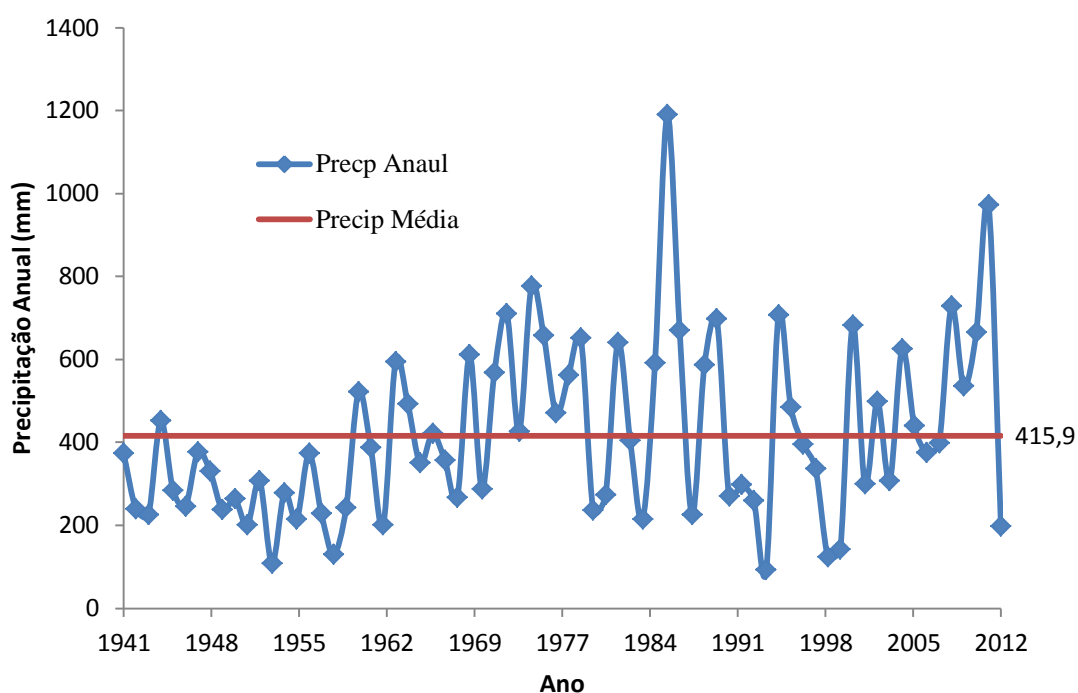


Figura 2: Variação da precipitação total anual no município de Soledade-PB e sua respectiva média ao longo dos anos representadas pelas ondas.

O estudo da análise harmônica da amostra dos dados referentes à pluviosidade do município de Lagoa Seca-PB para o período de janeiro de 1984 a dezembro de 2012, totalizando 28 anos de observações, possibilitou a descrição de seis ondas senoidais, das quais, três foram consideradas significativas. Portanto, sua síntese representa 98,05% da variação total entre o período observado.

A escolha das três ondas senoidais que melhor representam o modelo para o município de Lagoa Seca-PB foi possibilitada mediante o uso da análise de variância (Teste de Brunt),

através do qual obteve-se os seguintes valores: onda anual: 91,47%; onda semestral: 3,91% e onda quadrimestral: 2,66%.

As ondas podem ser observadas na Figura 3:

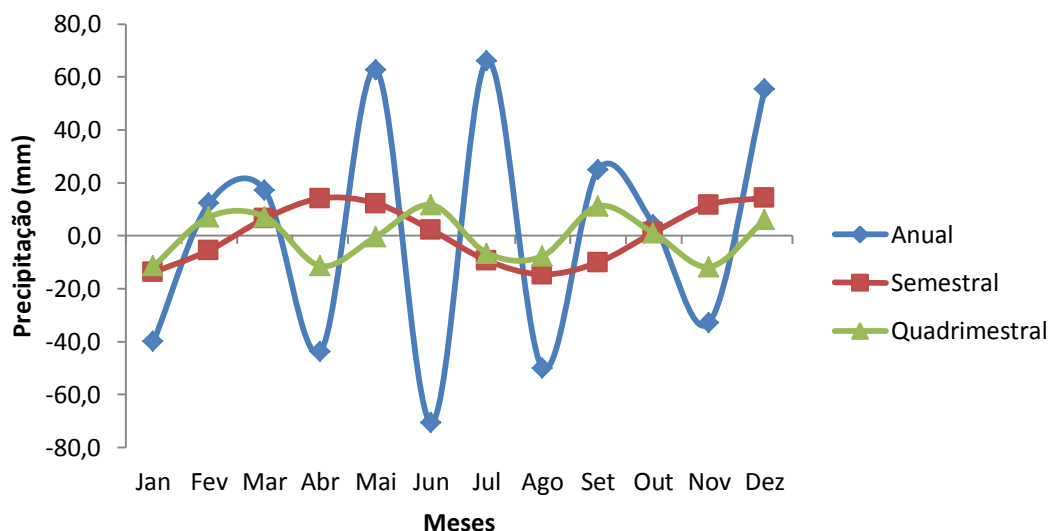


Figura 3: Variação anual da precipitação média mensal no município de Lagoa Seca-PB representada pelas ondas.

Na Figura 3 pode-se observar que a precipitação média mensal não ultrapassa 100mm. Verifica-se ainda que a máxima precipitação ocorreu no mês de junho (70,6mm) e a mínima ocorreu em fevereiro (17,2mm). Observa-se ainda uma variação entre valores positivos e negativos. Esta se dá devido ao fato de alguns ângulos de fase encontrarem-se nos terceiro e quarto quadrantes, fazendo com que as ondas senoidais oscilem entre valores positivos e negativos.

Assim, evidencia-se então, o período chuvoso no município de Lagoa Seca-PB entre os meses de maio a julho e o período de estiagem entre os meses de dezembro a março.

A amostra dos dados referentes à pluviosidade do município de Soledade-PB para o período de janeiro de 1941 a dezembro de 2012, totalizou 71 anos de observações e também possibilitou a descrição de seis ondas senoidais, destas, três foram mais significativas e sua síntese representa 97,39% da variação total no referido período.

Para a série de dados do município de Soledade também foi usado o método da análise de variância para escolha das três ondas que melhor representam o modelo. A partir do referido teste observa-se que a onda anual possui representatividade de 83,36%, a onda

semestral 9,30% e a onda quadrimestral, 4,71%, cujas ondas podem ser observadas a partir da Figura 4:

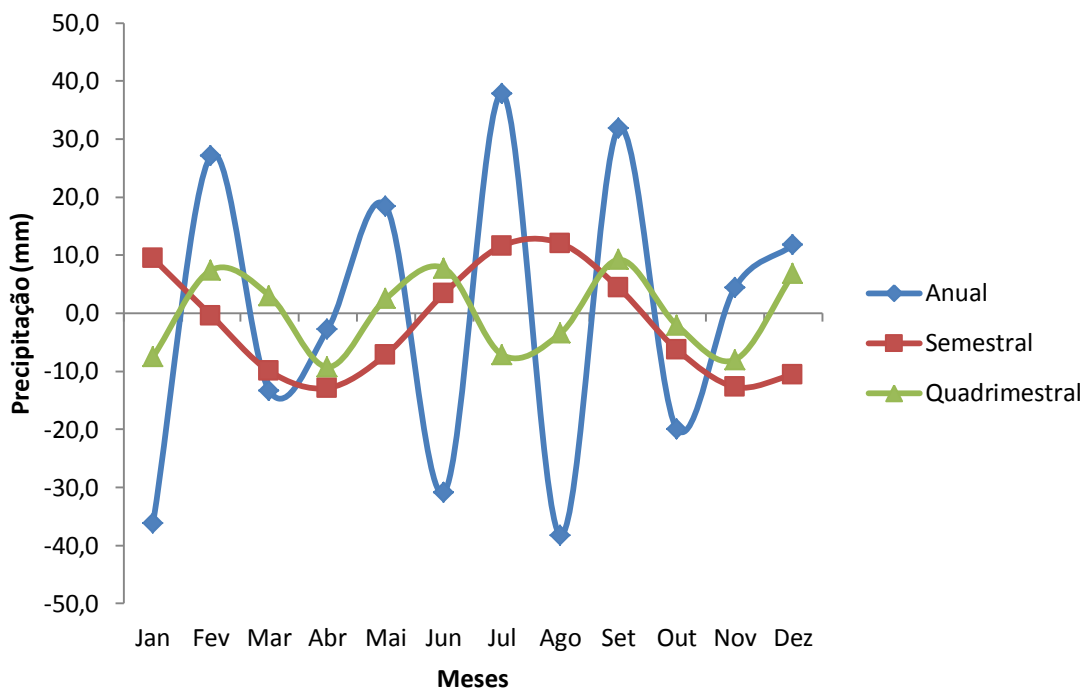


Figura 4: Variação anual da precipitação média mensal no município de Soledade-PB representada pelas ondas.

Na Figura 4 observa-se que a precipitação média mensal não ultrapassa 40 mm e que a máxima precipitação ocorre no mês de agosto (38,2 mm) e a mínima ocorre em abril (2,8 mm). Também há uma variação entre números positivos e negativos devido a alguns ângulos de fase encontrarem-se nos terceiro e quarto quadrantes.

Portanto, evidencia-se no município de Soledade-PB um período chuvoso entre os meses de junho a outubro e de estiagem entre os meses de março a maio e também a partir de meados de outubro até dezembro.

Para os dados de Lagoa Seca-PB, tem-se os seguintes resultados para os valores dos somatórios de a_n e b_n e a variância verificados na Tabela 1.

Tabela 1: Valores referentes aos coeficientes resultantes da análise harmônica dos totais pluviiais mensais do município de Lagoa Seca-PB, no período de 1984 a 2012.

Coeficientes	Harmônicos						
	K	1	2	3	4	5	6
a_n	-1210,9	409,1	-337,1	164,4	109,6	-27,1	
b_n	1565,4	12,5	-20,9	-125,3	165,8	0,00	
a_k	70,7	14,6	12,1	7,4	7,1	1,00	
A_k	322,3	88,3	266,4	127,3	33,5	270	
Var_k	0,90	0,04	0,03	0,01	0,01	0,003	
Vac	0,90	0,94	0,97	0,98	0,99	0,993	

A Tabela 2 representa os valores dos somatórios de a_n e b_n , o valor de a_0 dividido por 71 e a variância para Soledade-PB.

Tabela 2: Valores referentes aos coeficientes resultantes da análise harmônica dos totais pluviiais mensais do município de Soledade-PB, no período de 1941 a 2012.

Coeficientes	Harmônicos						
	K	1	2	3	4	5	6
a_n	571,3	-538,6	-594,0	367,0	-19,7	-28,5	
b_n	2703,3	749,8	-281,8	-318,0	33,0	0,00	
a_k	38,9	13,0	9,3	6,8	0,5	0,40	
A_k	11,9	324,3	244,6	130,9	329,4	270,0	
Var_k	0,80	0,09	0,05	0,02	0,02	0,002	
Vac	0,80	0,89	0,94	0,96	0,98	0,982	

Assim, de acordo com as relações de ortogonalidade, visualiza-se nas Tabelas 1 e Tabela 2 os valores dos coeficientes das ondas harmônicas referentes aos municípios de Lagoa Seca-PB e Soledade-PB, respectivamente. Com a finalidade de testar a eficiência das séries de Fourier correspondentes aos referidos municípios, levou-se em consideração a variância acumulada. No caso do município de Lagoa Seca-PB, a variância acumulada foi da ordem de 99,3% e no caso do município de Soledade-PB, 98,2.

De acordo com o teste de Brunt, o quadrado da variância é obtido pelo produto do somatório do quadrado das cinco primeiras amplitudes por um meio, somado com o quadrado da sexta amplitude. Assim, para o município de Lagoa Seca-PB, tem-se a variância ao quadrado igual a 2731,9 e para Soledade-PB, o resultado obtido foi 908,3377. Verifica-se para Lagoa Seca-PB um resultado bem superior ao de Soledade-PB. Tal fato ocorre porque no caso de Soledade-PB, a série refere-se a 71 anos de observações e no caso de Lagoa Seca-PB, refere-se a apenas 28 anos, evidenciando que quanto maior a série de dados, maior a confiabilidade do modelo.

5. CONCLUSÕES

- Os três primeiros harmônicos da serie de Fourier aplicados aos dados de precipitação ocorridos durante o período estudado explica 98,05% para o município de Lagoa Seca-PB, enquanto que para o município de Soledade-PB explica em torno de 97%;
- A variância acumulada para o município de Lagoa Seca-PB está em torno de 0,99 e para Soledade-PB, 0,98, ambos inferiores a 1, evidenciando uma alta confiabilidade do modelo;
- De acordo com o teste de Brunt, quanto maior for a série de observações, maior será a confiabilidade do modelo de Fourier quando se aplica a dados de precipitação pluviométricas.

ABSTRACT

Taking into consideration the fact that physics and mathematics have a fundamental role in the explanation of various environmental and climatological phenomena and that these mostly are periodicals, it is considered that the harmonic series can describe them well. This work was conducted by a harmonic analysis applied to total monthly rainfall data occurred in the municipalities of Lagoa Seca-PB and Soledad-PB. Rainfall records were used, referring sites to 28 and 71 years, respectively. The analysis was performed by expansion in Fourier series of a periodic function and set for the ranges listed. The original data were adjusted for months of 30 days in order to normalize the distribution. After the results of harmonic analysis, annual waves were obtained, biannual and quarterly. Were also analyzed the totals accumulated over the years, as well as their means and then determined the years regarding the maximum and minimum precipitation accumulated during the interval mentioned. The study of harmonic coefficients showed that the model of harmonic analysis gives a good diagnosis about the monthly and annual rainfall with optimal performance in the series of local stormwater data.

Keywords: pluvial precipitation, Fourier series, period.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, Edilberto. *Análise harmônica*. In.: *Revista da Pesquisa Agropecuária Brasileira –PAB*. Brasília, v. 3, p. 7-43, 1968.

ANDRADE, Antônio Ricardo Santos de. *Análise harmônica no estudo das chuvas no Município de Catolé do Rocha – PB*. In.: *Revista de Biologia e Ciências da Terra* ISSN 1519-5228. Versão eletrônica. Volume 6 – Número 1, p. 56-58, 1º semestre 2006.

ASSIS, F.N. et al. *Análise Harmônica*. In.: *Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática*, Ed. Universitária/UFPel, Pelotas, 1996.

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

BASTOS, T.X. et al. *Padrão climático e variabilidade das chuvas em Tomé-Açu e sua implicação para as culturas da pimenta-do-reino e cupuaçu*. In.: *Anais da Embrapa Amazônia Oriental: JICA*, Embrapa, Belém, 1997.

DINIZ, Geraldo L. et al. *Análise harmônica do regime de precipitação em duas localidades da baixada cuiabana*. In.: *Biomatemática 18* ISSN 1679-365X. Versão eletrônica, 2008. p. 37-48.

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

QUEIROZ et al. *Modelo de análise de regressão periódica da precipitação mensal, da bacia atlântico sudeste, no Estado do Paraná*. In.: *Revista da Pesquisa Agropecuária Brasileira – PAB*. Brasília, v. 36, número 5, p. 727-742, maio 2001.

OLIVEIRA, PT. et al. **Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events Northeast Brazil**. In.: *Atmosphere Science Letters: 15*, 2014. p. 73-78.

PEREIRA, A.R. et al. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*, Agropecuária, Guaíba, 2002.

PINHEIRO, Mariele Regina; PAULO, Sérgio Roberto de. Utilização da análise de Fourier no estudo de variáveis micrometeorológicas de uma floresta de transição do norte do Mato Grosso. ACTA Amazônica, vol. 41, 2011. p. 39-46.