

MODELAGEM DAS CHUVAS TRIMESTRAIS NO SEMI-ÁRIDO DO NORDESTE BRASILEIRO

João Baptista da Silva¹, Felipe B. Cunha², Sheila Radmann da Paz³, Márcio Porto Basgalupp⁴

Introdução

Diversos autores têm realizado trabalhos em busca de possíveis periodicidades existentes entre os totais anuais de chuvas. MARKHAM (1974), GIRARDI & TEIXEIRA (1978) e MORETTIN et al. (1983), dentre outros, estudaram os totais de chuvas em Fortaleza, CE, e, baseados na natureza periódica ou quase periódica das observações, encontraram algumas ondas senoidais relevantes, as quais permitiram inferências válidas. Todavia, considera-se duvidosa a caracterização das secas nordestinas pelo total das precipitações anuais. Possivelmente, mais importantes são os totais mensais, bimestrais ou trimestrais, de dezembro a julho, período que constitui o "inverno" nordestino. AMARAL & BAPTISTA DA SILVA (1981) e BAPTISTA DA SILVA et al (1999) estudaram o comportamento das secas nordestinas, buscando periodicidades de chuvas a partir dos totais de janeiro em Fortaleza, CE, para 132 anos de observações. Um modelo ajustado, constituído pelas quatro ondas de maior amplitude, representou adequadamente a tendência dos dados. Com os resultados deste trabalho pôde-se avaliar a importância de uma ampliação da base informacional, isto é, substituir os totais mensais por bimestrais ou trimestrais. Daí, a escolha do trimestre março-abril-maio, nos estudos posteriores, como responsável por cerca de 60% das chuvas anuais na região nordestina (MARKHAM, 1974).

A região Nordeste ocupa 18,27% do território brasileiro, com uma área de 1 561 177,8 Km², onde se localiza o semi-árido, com 841 260,9 Km² de área, compreendendo os Estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí. O semi-árido, onde se pratica a agricultura de sequeiro, com uma população de mais de 18 milhões de pessoas, é atingido por diversas mudanças na circulação geral da atmosfera devido a fatores externos à região, tais como: as diferenças de temperatura superficial das águas do Atlântico Norte, que são mais quentes, e do Sul, que são mais frias; o deslocamento da zona de convergência Intertropical para o Hemisfério Norte em épocas previstas para permanência no Sul; o aparecimento do fenômeno conhecido como El Niño, caracterizado pelo aumento da temperatura no Oceano Pacífico Equatorial Leste, causando devastadoras estiagens que, combinadas com elementos naturais, como a topografia acidentada do Nordeste e a alta refletividade da crosta, inibem a formação de chuvas.

O objetivo do presente trabalho foi determinar as periodicidades das chuvas trimestrais (março, abril e maio), para cada grupo de regiões homogêneas quanto ao regime pluviométrico, em algumas localidades do semi-árido do Nordeste brasileiro, por meio de modelagem estatística.

Material e métodos

Foram utilizados no estudo os totais de chuvas do trimestre março-abril-maio registradas em 81 anos de observações (1911 – 1991), coletadas em 58 estações meteorológicas localizadas na região semi-árida do Nordeste brasileiro, abrangendo os Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Bahia. Os registros foram cedidos pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

Os dados foram classificados através da análise de agrupamento (método aglomerativo hierárquico de Ward), referente às chuvas trimestrais das 58 estações meteorológicas, na busca de grupos homogêneos quanto ao regime das chuvas.

Verificou-se as propriedades da homogeneidade das variâncias e de aproximação à distribuição Normal, das médias trimestrais, calculadas em cada um dos grupos homogêneos por meio dos testes de Cochran e de Qui-Quadrado.

Na busca das possíveis periodicidades existentes nos dados, utilizou-se a análise periodográfica. Os periodogramas estimados pela Transformada de Fourier Discreta indicaram, pelos picos no gráfico, as ondas senoidais mais destacadas, sendo essas selecionadas para compor os modelos em função de suas magnitudes. Os modelos são expressos por:

$$z_t = \mu + \sum_j [A_j \cos w_j t + B_j \sin w_j t] + e_t,$$

onde : Z_t = precipitação trimestral; w_j = frequência angular da j -ésima onda; e_t = resíduo; μ , A e B são os parâmetros cujas estimativas são obtidas por:

$$\hat{\mu} = \sum Z_t / n = \bar{Z},$$

$$\hat{A} = (2/n) \sum (Z_t - \bar{Z}) \cos wt,$$

$$\hat{B} = (2/n) \sum (Z_t - \bar{Z}) \sin wt,$$

$$t = 0, 1, 2, \dots, (n-1).$$

Estimando-se as séries através dos modelos propostos, pôde-se avaliar o ajuste com os dados observados pela análise dos resíduos (teste de Box-Pierce), pela comparação com médias móveis, pelo erro quadrático médio (EQM) e pelos coeficientes de

¹ Eng. Agr., Livre Docente, Doutor, Prof. Titular (Aposentado) do IFM/UFPel, Bolsista do CNPq. E-Mail: jbsilva@ufpel.tche.br.

² Bacharel em Ciência da Computação, Colaborador.

³ Meteorologista, aluna de Pós-Graduação da UFRGS, Ex-Bolsista do PIBIC/CNPq..

⁴ Aluno do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação da UFPel, Bolsista do PIBIC/CNPq.

correlação paramétrico e não paramétrico. Para verificar a validade dos modelos quanto à previsão de novos valores, pretende-se utilizar os dados correspondentes ao período de 1992-1999, não participantes da estimação dos modelos. Estes dados já foram solicitados a FUNCEME, mas ainda não foram disponibilizados.

Resultados e discussão

O método de agrupamento hierárquico aglomerativo de Ward, aplicado aos totais trimestrais, levou à classificação das 58 estações em três grupos: o grupo I, com 25 estações, localizado mais no interior e apresentando uma média de 295,11 mm; o grupo II, com 27 estações, ocupando uma posição intermediária e com uma média de 508,30 mm; e o grupo III, com 6 estações, localizado no litoral e com média de 791,56 mm. Outros pesquisadores, verificando prognósticos sazonais de precipitação no semi-árido brasileiro, determinaram macro regiões pluviométricas homogêneas, em geral, concordantes com os grupos aqui constituídos.

Os dados médios dos totais trimestrais de cada grupo, no conjunto dos 81 anos de observações, foram testados quanto à homogeneidade de variâncias (teste de Cochran) e quanto à normalidade da distribuição (teste de Qui-Quadrado). Os resultados indicaram a existência destas propriedades em todos os três grupos. Logo, não foi necessária nenhuma transformação prévia dos dados.

A análise periodográfica dos dados médios das estações meteorológicas de cada um dos grupos sugerem as possíveis periodicidades existentes, indicadas pelos picos no periodograma. As ondas correspondentes a estes picos foram escolhidas em função de suas magnitudes.

Os modelos selecionados para cada um dos grupos foram os seguintes:

$$\hat{Y}_{1t} = 295,110 - 9,328*\cos(0,314t) - 43,583*\sin(0,314t) - 40,641*\cos(1,571t) - 22,691*\sin(1,571t) + 30,863*\cos(1,904t) + 8,751*\sin(1,904t)$$

$$\hat{Y}_{2t} = 508,295 + 38,111*\cos(0,472t) - 71,317*\sin(0,472t) + 75,831*\cos(1,102t) - 10,764*\sin(1,102t) - 67,902*\cos(1,571t) + 27,654*\sin(1,571t) + 46,666*\cos(1,904t) + 12,834*\sin(1,904t)$$

$$\hat{Y}_{3t} = 791,963 + 70,687*\cos(0,079t) - 84,583*\sin(0,079t) + 38,913*\cos(0,472t) - 120,037*\sin(0,472t) - 144,094*\cos(1,745t) - 67,263*\sin(1,745t)$$

$$t = 0, 1, \dots, 80 \text{ anos.}$$

O teste de Box-Pierce mostrou valores de χ^2 não significativos, a 5%, para nenhum dos lags (6,12 e 18) em todos os grupos. Os erros podem ser reconhecidos como ruído branco e os modelos aceitos como adequados.

Observou-se que a onda de 13 anos, também detectada por outros autores (MARKHAM, 1974; GIRARDI & TEIXEIRA, 1978; MORETTIN et al, 1983), tem presença marcante na maioria dos grupos.

O acordo entre o modelo e os valores observados apresenta-se como adequado, para a maioria dos anos, nos 3 grupos, embora as maiores discrepâncias nas observações não sejam acompanhadas, em geral, pelos dados estimados, como acontece em outros trabalhos (MORETTIN et al, 1983). Usando-se médias móveis de 9 anos, pôde-se melhor caracterizar a tendência existente nos dados e verificar mais nitidamente a adequada representatividade dos modelos quanto à tendência.

Os erros quadráticos médios (EQM) variam de 11 621 (grupo I) até 56 003 (grupo II), visto que há uma maior variabilidade das chuvas no litoral do que no interior.

Os coeficientes de correlação linear simples, paramétrico e não paramétrico, entre os valores observados e estimados pelos modelos, apresentam-se como positivos e significativos ao nível de 1% para todos os grupos, indicando que eles seguem à mesma tendência.

Conclusões

Os modelos propostos constituídos de três ou quatro ondas senoidais, com destaque para a onda de 13 anos, representam adequadamente as tendências existentes nas observações dos três grupos classificados pela análise de agrupamento das 58 estações meteorológicas do semi-árido do Nordeste Brasileiro.

Referências bibliográficas

- AMARAL, E., BAPTISTA DA SILVA, J. Periodicidades ocultas e previsão de secas (comunicação preliminar). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, II, 1981, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia / UFPel, 1981, 289 p., p. 263-269
- BAPTISTA DA SILVA, J., CUNHA, F. B., SCHONS, R.L., Chuvas em Fortaleza, CE: Resultados de um primeiro estudo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 1, p. 113-118, 1999.
- GIRARDI, C., TEIXEIRA, L. **Prognóstico de período de seca para o Nordeste Brasileiro**. Centro Técnico da Aeronáutica - CTA/IAE, São José dos Campos, SP, 1978, 18p.(Relatório Técnico ECA-06/78).
- MARKHAM, C. G. Apparent periodicities in rainfall at Fortaleza, Ceará, Brazil. **Journal of Applied Meteorology**, v. 13, n. 1, p. 176-179, 1974.
- MORETTIN, P. A., MESQUITA, A. R., ROCHA, J. G. C. **Rainfall at Fortaleza, Ceará, Brazil, revisited**. Departamento de Estatística, IME, Universidade de São Paulo, 1983, 33 p. (Relatório Técnico RT-MAE-8303).