

APLICAÇÃO DA TEORIA DA ENTROPIA NO ESTUDO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL EM TERESINA-PI

*Raimundo Mainar de Medeiros¹, Vicente de Paulo Rodrigues da Silva², Manoel Francisco
Gomes Filho³, Paulo Roberto Megna Francisco⁴*

¹Doutorando em Meteorologia, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Email: mainarmedeiros@gmail.com

²Doutor Professor Adjunto Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Email: vicente@dca.ufcg.edu.br

³Doutor Professor Adjunto Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Email: mano@dca.ufcg.edu.br

⁴Pesquisador DCR CNPq/Fapesq, Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Email: paulomegna@ig.com.br

Artigo recebido em 03/02/2015 e aceito em 19/07/2015

RESUMO

A cidade de Teresina-PI está localizada na parte norte do estado e sua faixa de precipitação está na área de transição entre cerrado e cerradão, caracterizados por clima AW segundo Köppen. A região pesquisada apresenta alta variabilidade espaço-temporal das chuvas. Este trabalho objetiva analisar separadamente a série pluviométrica (1930-2010) de Teresina-PI para se avaliar algumas estatísticas básicas através da teoria da entropia que é capaz de produzir padrões espaciais que possibilitam compreender melhor as características das chuvas na área estudada. O desvio-padrão da entropia anual varia uniformemente aos valores de entropia, mostrando com isso uma pequena oscilação de seus dados em torno dos valores médios. A técnica da entropia constitui uma ferramenta apropriada para expressar a variabilidade dos dados em torno da média, ao invés da técnica convencional do desvio-padrão. A variabilidade dos padrões de ocorrência de precipitação no município de Teresina é maior nos períodos de La Niña do que nos períodos de EL Niño, com valores de entropia anual oscilando entre 2,68 bits (mínimo) e 6,47 bits (máximo), com um valor médio de 5,39 bits.

Palavras-chave: entropia, recursos hídricos, variabilidade.

APPLICATION OF THE THEORY OF ENTROPY IN THE STUDY OF PRECIPITATION IN RAIN TERESINA-PI

ABSTRACT

The city of Teresina - PI is located in the northern part of the state and his band of precipitation is in the area of transition between savanna and woodland, characterized by climate AW second Köppen. The area surveyed has a high spatio-temporal variability rainfall. This paper aims to analyze separately the rainfall series (1930-2010) of Teresina - PI, to evaluate some basic statistics through the theory of entropy that can produce spatial patterns that enable better understand the characteristics of rainfall in the study area. The standard deviation of annual entropy varies uniformly to entropy values, showing that with a small oscillation data around their mean values. The technique of entropy is an appropriate tool for expressing data variability, around the average instead of the conventional standard deviation. The variability of the patterns of occurrence of precipitation in the city of Teresina is higher during La Niña than during periods of El Niño, with annual entropy values ranging from 2.68 bits (minimum) and 6.47 bits (maximum) with an average of 5.39 bits.

Keywords: entropy, water resources, variability.

INTRODUÇÃO

Considerando a importância direta da precipitação sobre as condições ambientais, agindo diretamente sobre o balanço de água no solo e, indiretamente, através de outros elementos como temperatura do ar e do solo, umidade relativa do ar e radiação solar incidente na superfície do solo, existe grande esforço no sentido de fazer previsões acerca da ocorrência das chuvas e de sua variação espacial e temporal de acordo com Ufoegbune et al. (2011).

Um dos principais mecanismos físicos produtores de chuva na região é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), influenciando diretamente na durabilidade da estação chuvosa conforme Uvo (1989).

Os sistemas frontais, importante sistema produtor de precipitação, atuam basicamente na região sul do Nordeste do Brasil (NEB) durante os meses de novembro a fevereiro com máximos registrados em dezembro, principalmente na parte sul da Bahia, e decrescendo para o norte daquela região (Chu, 1983).

Para Bertoni e Tucci (1993), o conhecimento da precipitação durante o ano é o fator determinante para estimar, dentre outras ações, a necessidade de irrigação de culturas e o abastecimento de água doméstico e industrial. Visto dessa forma, a precipitação configura-se como uma das variáveis meteorológicas indispensáveis ao processo de desenvolvimento socioeconômico de uma região.

Moulin (2005) afirma que os dados de precipitação são importantes à medida que podem se tornar fundamentais para diversas atividades humanas, a exemplo da geração de energia elétrica, da navegação fluvial, dos sistemas de irrigação, da exploração de aquíferos, da prevenção de erosão hídrica, das obras de engenharia, da ocupação do solo no tocante a áreas inundáveis e do suprimento de água para cidades e complexos industriais.

Uma amostra pequena de dados reflete, muitas vezes, a dificuldade na análise da distribuição de probabilidade da variável por métodos convencionais. Sendo assim, pode-se amenizar esse tipo de problema por meio do uso da teoria da entropia, a qual é capaz de determinar distribuições de probabilidade menos parciais com pequenas amostras de dados. Essa característica da entropia é particularmente importante principalmente em estudos onde a escassez de dados é grande (Sousa et al., 2012).

O termo entropia, como conceito científico, é originário da Física e foi inicialmente utilizado em termodinâmica por Clausius em 1850. Sua interpretação probabilística, dentro da mecânica estatística, é atribuída a Boltzmann em 1877, sendo relacionado à probabilidade somente em 1906, por Planck.

Mais recentemente, Shannon (1948) utilizou o conceito de entropia na análise econômica e na solução de problemas relacionados com a teoria de codificação e transmissão de dados. Essa contribuição à teoria moderna da informação tem sido atualmente aplicada em diversas áreas do conhecimento, tais como em hidrologia (Singh; Rajagopal, 1987), matemática (DRAGOMIR et al., 2000), economia (Kaberger; Mansson, 2001), ecologia (RICOTTA, 2001), climatologia (Kawachi et al., 2001) e em medicina (Montaño et al., 2001).

Shannon (1948) utilizou os conceitos de Mecânica Estatística desenvolvidos por Boltzmann e aplicou na análise dos sistemas de comunicação. O grau de aleatoriedade de um sistema é mais bem compreendido através da determinação do grau de liberdade, ou seja, da forma com que as mensagens se distanciam dos padrões encontrados. Notadamente, nos estudos onde a quantidade de dados é muito grande, a aplicação dos conceitos da teoria da entropia facilita a identificação de informação genuína dos padrões estruturais. Essa teoria, por sua vez, parece ter inaugurado uma nova abordagem para a compreensão de fenômenos das mais diversas áreas. Isso pode ser verificado pela influência exercida na Física, na Genética, dentre outros ramos de estudo.

Segundo Maruyama et al. (2005), a principal questão a ser observada quando se usa a teoria da entropia nessas aplicações é verificar o grau de incerteza ou a medida da desordem de ocorrência de chuva. A distribuição espacial da precipitação está relacionada a fatores meteorológicos e hidrológicos.

A incerteza pode ser quantificada pela entropia, levando-se em conta todos os tipos de informações disponíveis, e representada pela distribuição de probabilidade da variável controlada. Interpretando um conjunto composto por n elementos e se considerando π como a probabilidade de encontrar o sistema no n ésimo microestado, a entropia de Shannon é igual à entropia da mecânica estatística (Silva et al., 2003).

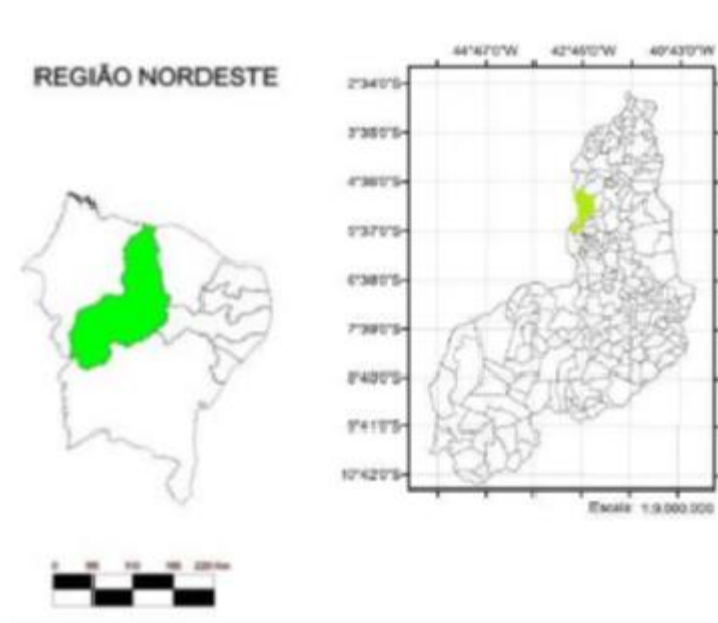
Portanto este trabalho objetiva analisar a variabilidade dos padrões diários, mensais e anuais de ocorrência de chuva no município de Teresina-PI observando o comportamento da entropia, da precipitação e dos desvios-padrão da entropia e da precipitação no período de 1913 a 2010.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a região do município de Teresina (Figura 1), com uma latitude de $5^{\circ}5'20''$ a $5^{\circ}45'00''$ ao sul e longitude de $42^{\circ}48'07''$ a $42^{\circ}62'00''$ ao oeste, localiza-se próximo à divisa com o Maranhão, ao oeste do estado, em uma altitude de 72 metros, em média. Atualmente, devido ao aumento do efeito estufa, Teresina tem sofrido mudanças em seu clima,

pois em anos em que ocorre o fenômeno El Niño, a sua temperatura tende a aumentar e assim também a sensação térmica ser superior aos 40°C, além de levar os dias chuvosos para os meses de março a maio. O fenômeno La Niña, ao contrário, provoca maior alívio para a cidade, pois os efeitos são de aumento do número de chuvas e queda das temperaturas. Geralmente quando da ocorrência desse fenômeno tem-se período chuvoso de dezembro a junho (Medeiros, 2013).

Figura 1: Estado do Piauí com destaque para Teresina



Fonte: Autoria própria

Teresina está inserido no caráter mesotérmico, com uma temperatura média mensal oscilando entre 26,9°C e 30,1°C e com valor anual de 28,1°C, com elevada amplitude térmica oscilando entre 6,0°C e 19,5°C. A temperatura máxima anual é 33,8°C, com oscilações mensais 31,8°C a 37,1°C, a temperatura mínima anual é em torno de 22,4°C e suas variações mensais oscilam entre 20,7°C a 23,8°C. A umidade relativa do ar na área urbana varia entre 75 a 83%, de conformidade Medeiros (2013).

O clima de Teresina, de acordo com a classificação de Köppen é Aw', caracterizado por apresentar o mês mais frio com mais de 18°C e o mês mais seco com menos de 60 mm, com chuvas atrasando para o outono (Bastos et al., 2002).

De acordo com as análises dos dados, a região de Teresina apresenta um clima do tipo C1W2S2A', Subúmido Seco com vegetação associada à cerradão e com precipitação insuficiente em todas as estações segundo a classificação climática de Thornthwaite, que está baseado numa série de índices térmicos utilizando-se o balanço hídrico da região.

Os dados utilizados neste trabalho são oriundos do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e

da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATER-PI), constando de uma série pluviométrica de 98 anos (1913-2010).

Neste estudo foi analisada separadamente a série temporal de Teresina-PI (1913 a 2010) para se avaliar algumas estatísticas básicas através da técnica da entropia.

Neste estudo a entropia foi considerada como a estimativa da incerteza da ocorrência de um determinado evento num processo aleatório discreto (Shannon, 1948) que foi obtida por:

$$H = -k \sum p_i \log p_i \quad (1)$$

Em que: p_i é o resultado da probabilidade da i -ésima variável aleatória discreta, k é uma constante positiva, cujo valor depende das unidades utilizadas, e H é a entropia da variável aleatória.

Assumindo a constante k , como unidade de estimativa, igual a 1 e a base do logaritmo 2, a Eq. (1) pode ser simplificada como:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad (2)$$

Em que: H é obtido em “bit”, como unidade de medida da entropia, e n é o número possível de eventos da variável aleatória discreta.

A unidade de entropia pode ser bit para a base 2, napiers ou nats para a base neperiana e hartley para a base 10. Neste trabalho será utilizada a unidade bit para entropia, que significa dígito binário, ou seja, a menor unidade na notação numérica binária, que pode assumir o valor 0 ou 1.

Se todos os p_i 's são iguais, isto é, $p_i = 1/n$, então a entropia é $H = \log_2 n$. Assim, H é uma função monotonamente crescente em n . Para um dado n , H é máximo quando todos os p_i 's são iguais. Ao contrário, H é mínimo e igual a zero quando todos os p_i 's, exceto um, é zero. Isso significa que todo resultado da variável aleatória é sempre o mesmo e, portanto, um dos p_i 's torna-se unitário. Assim, o valor da entropia, varia dentro do intervalo de zero a $\log_2 n$, de acordo com a forma da distribuição de probabilidade dos p_i 's. O valor da entropia decresce com o aumento do número de contraste e aumenta com o decréscimo desse número. Visto dessa maneira, a entropia pode ser considerada como uma estimativa funcional da incerteza associada à distribuição de probabilidade.

Para cada série histórica de precipitação de um ano, foi admitido que r_i seja a precipitação pluvial diária correspondente ao i -ésimo dia do ano. Por exemplo, valores diários da precipitação pluvial de 1 de janeiro e 31 de dezembro para o mesmo ano podem ser expressos

por r_1 e r_{365} , respectivamente. Assim, a precipitação total durante o ano (R), pode ser expressa pelo somatório dos valores diários, variando de $i = 1$ até $i = 365$:

$$R = \sum_{i=1}^{365} r_i \quad (3)$$

Em que: os valores de r_i podem ser zero para alguns dias e diferentes de zero para outros.

As séries de precipitação formadas por r_1, r_2, \dots, r_n podem, assim, ser fixadas como a frequência de ocorrência acumulada de chuvas para 1, 2, ... , enésimo dia do ano, respectivamente. Assim, a frequência relativa da precipitação (p_i) será obtida dividindo-se r_i pelo tamanho total da amostra (R), ou seja:

$$p_i = \frac{r_i}{R} \quad (4)$$

A frequência relativa (p_i) será fixada como uma probabilidade de ocorrência do total da precipitação no enésimo dia, e, portanto, sua distribuição representa a característica probabilística da partição temporal da precipitação ao longo do ano, isto, é a ocorrência da incerteza da precipitação. Substituindo a Eq. (4) na Eq. (3), teremos:

$$H = - \sum_{i=1}^n \frac{r_i}{R} \log_2 \left(\frac{r_i}{R} \right) \quad (5)$$

De acordo com a Eq. (5) o valor de H é independente da ordem sequencial de r_i na série temporal; assume o valor zero quando R ocorre apenas uma vez no ano e o valor máximo ($\log_2 n$) quando R ocorre em todos os dias do ano. Logo, a entropia aproxima-se do seu valor máximo quanto mais uniforme for sua distribuição, isto é, quando os dados da série apresentam pouca variabilidade temporal. Assim, H pode ser uma estimativa da variabilidade da precipitação no sentido de escala.

Quando as séries de precipitação anuais para n anos estão disponíveis, para um mesmo posto pluviométrico, a melhor estimativa da entropia anual pode ser obtida através da média aritmética dos valores da entropia:

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H \quad (6)$$

Em que: H é a entropia média e n o número de anos que foram utilizados no cálculo de H .

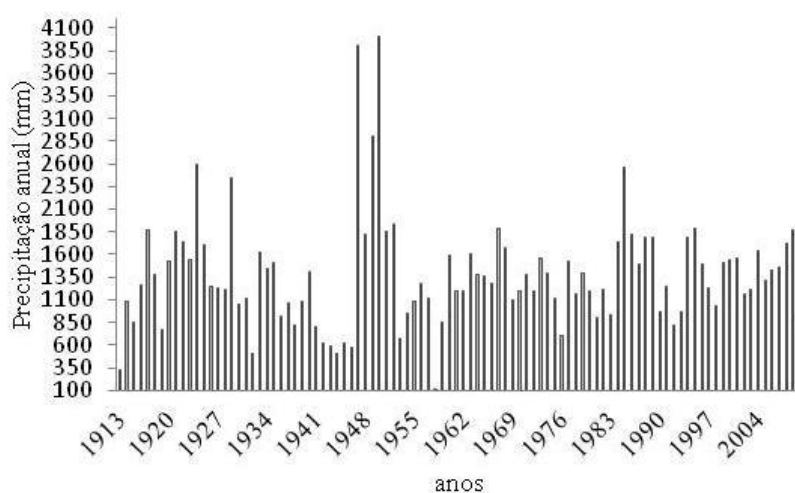
O ganho de uma informação resulta no decréscimo da entropia e vice-versa. A entropia torna-se zero quando existe certeza absoluta da ocorrência de certo evento, ou estatisticamente, quando todas as probabilidades de um conjunto, exceto uma, é zero.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento da precipitação, representado na Figura 2, onde é possível observar certa regularidade dos totais anuais precipitados com mínimos no início do período considerado e em alguns anos iniciais da década de 1940, final da década de 1950 e início da década de 1960. Por outro lado, o final da década de 1940 apresentou os maiores índices pluviométricos.

Esses resultados corroboram com Xavier (2003) que considerou uma cronologia para os eventos El Niño (EN) e La Niña (LN) ao longo do período 1900–2000.

Figura 2: Comportamento da precipitação pluvial anual em Teresina-PI (1913–2010)



Na Figura 3, observa-se o curso anual da entropia da precipitação pluvial. Observa-se um comportamento relativamente homogêneo da entropia anual no decorrer do período considerado. Esse fato é comprovado na Figura 3 que esboça o desvio-padrão dessa variável anual.

Na Figura 4 é possível notar que a entropia decresce exatamente nos períodos de menores precipitações, demonstrando assim a variabilidade da ocorrência de chuvas nesse período.

Figura 3: Entropia anual da precipitação pluvial

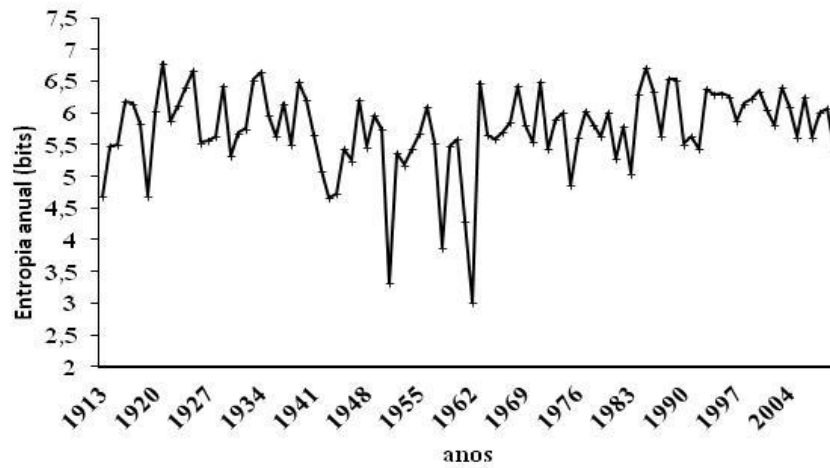
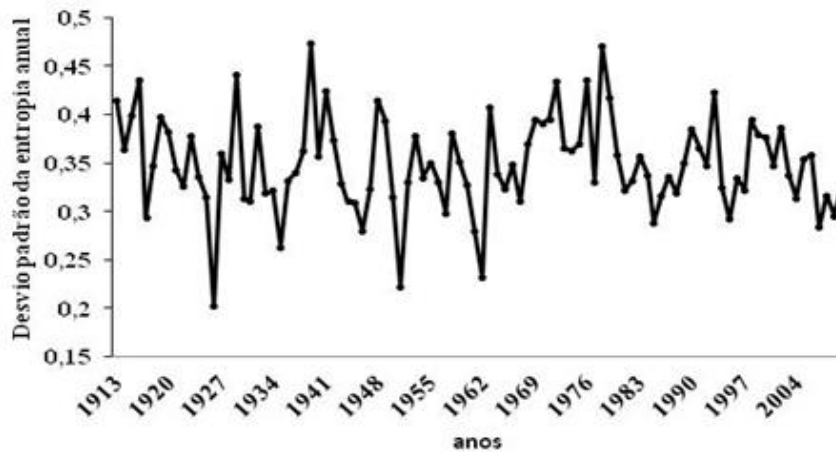


Figura 4: Desvio-padrão da entropia anual



Na Tabela 1 observam-se algumas estatísticas básicas da entropia e da precipitação pluvial com base em totais diários e anuais de precipitação pluvial.

Tabela 1: Estatística da entropia e da precipitação com base em totais diários e anuais de precipitação em Teresina – PI no período 1913 - 2010

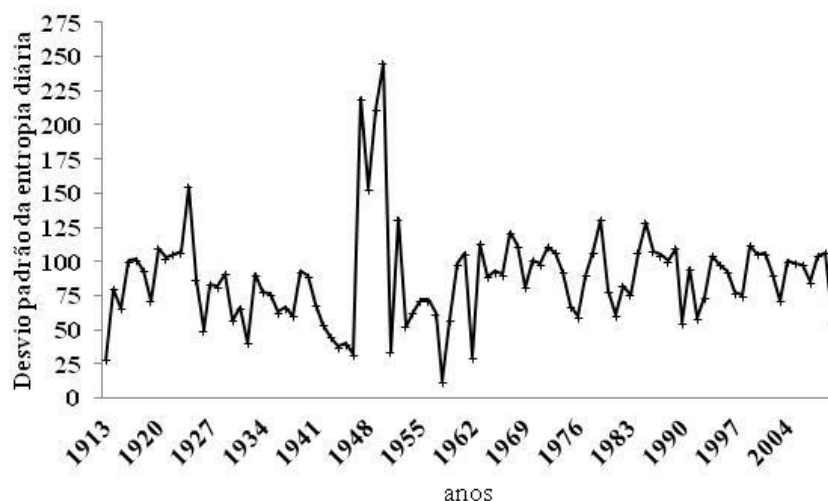
Parâmetros estatísticos	Entropia (bits)		Precipitação (mm)	
	Diária	Anual	Diária	Anual
Média	7,8	5,39	3,5	1258,3
Desvio-padrão	7,78	0,624	1,64	596,3
Percentual da média	56,17	11,58	46,8	47,4

O percentual da média se refere ao percentual do parâmetro analisado representado pelo desvio-padrão. Assim, observa-se que a média da entropia calculada com base em valores diários de precipitação pluvial (13,85 bits) é superior àquele obtido com a utilização dos dados anuais (5,39 bits). Assim como mostrado na Figura 2, os valores da entropia e do desvio-padrão da entropia apresentam mesmo padrão de comportamento, sendo o percentual anual da média o de menor representatividade.

Segundo Maruyama et al. (2005), a técnica da entropia é mais eficiente para detectar a desordem dos dados em torno da média do que o método convencional da variância. Essa ideia está aqui bem comprovada, pois o desvio-padrão da entropia, enquanto medida de variabilidade dos dados, se comporta inversamente ao desvio-padrão da precipitação pluvial.

Na Figura 5 observa-se o desvio-padrão da entropia diária, com valores relativamente constantes, com exceção do período 1948-1955, para o qual é possível observarmos valores acima da média dos demais anos.

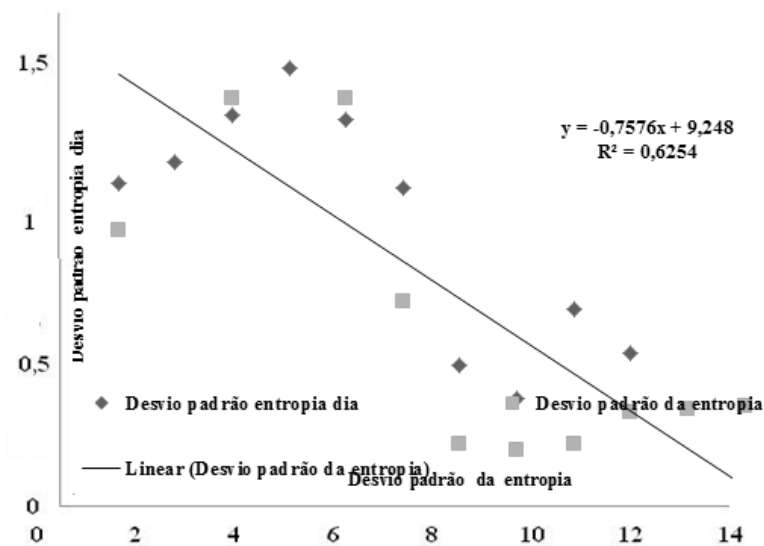
Figura 5: Desvio-padrão da entropia diária para Teresina – PI (1913–2010)



Nesse período em destaque, enquanto indicativo de uma maior oscilação entre os dados médios, nota-se exatamente os menores valores de entropia (Figura 3). Logo, a entropia aproxima-se do seu valor mínimo à medida que houver menos uniformidade de sua distribuição, isto é, quando os dados da série apresentam variabilidade temporal.

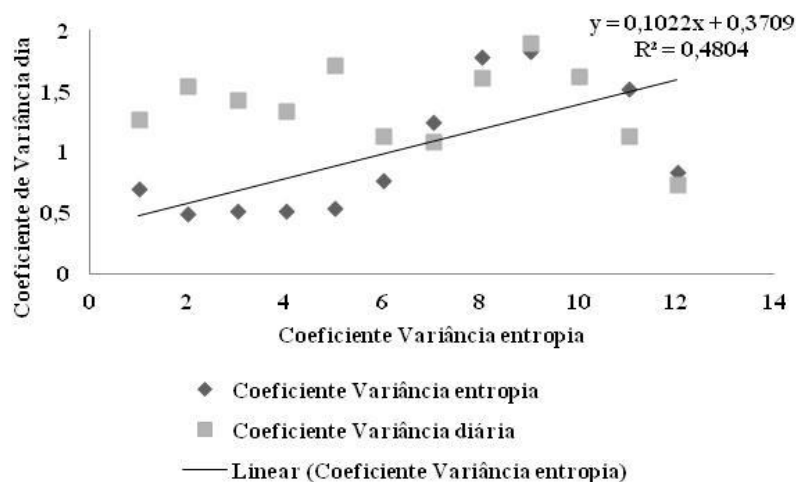
Na Figura 6 observa-se a correlação entre o desvio-padrão da entropia diária e o desvio-padrão da entropia anual. Observa-se um forte relacionamento negativo entre os valores diários e anuais de entropia. O coeficiente de determinação entre esses desvios foi de 62% e a curva ajustada foi uma função linear (Figura 4).

Figura 6: Correlação entre valores diários e anuais de entropia em Teresina-PI (1913-2010)



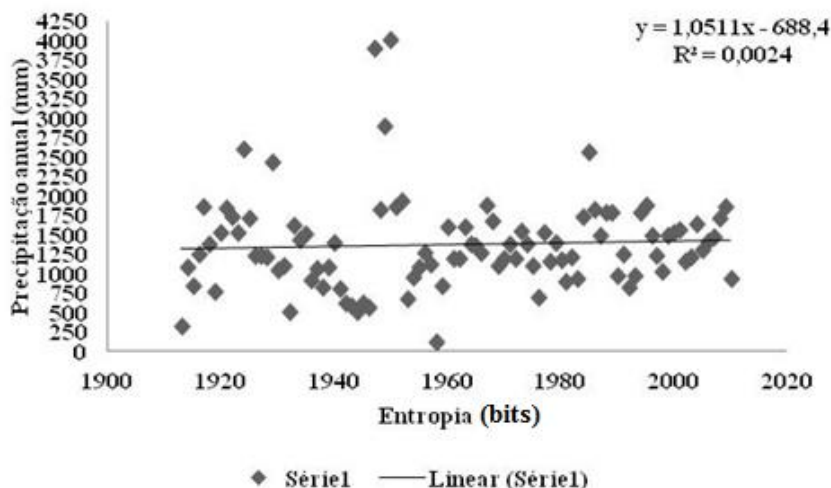
O relacionamento entre coeficientes de variação diários e anuais de entropia é observado na Figura 5. Neste caso, a correlação é crescente e com variância explicada próximo aos 50%, sendo a curva ajustada a uma função linear. Os resultados demonstram que a entropia diária, enquanto estimativa funcional da incerteza associada à ocorrência de chuva nesse curto período, não apresenta um mesmo padrão que aquele observado em escala anual.

Figura 7: Relacionamento entre variância explicada diária e anual da entropia da precipitação em Teresina-PI (1913-2010)



A correlação entre valores anuais de precipitação e entropia anual é observada na Figura 8.

Figura 8: Relacionamento entre entropia anual e precipitação anual em Teresina-PI (1913-2010).



Pela análise dos dados observa-se o padrão de relacionamento entre essas variáveis ajustado a uma função polinomial tipo 3. É possível observar que, em escala anual, a entropia se apresenta como uma medida de confiabilidade da probabilidade de incidência (ou não) de precipitação.

A entropia está diretamente relacionada a agricultura e aos seus cultivares devido a intensidade dos índices pluviométricos ocorrido e que venha a ocorrer desenvolvendo deste modo as cultivares.

CONCLUSÕES

O desvio-padrão da entropia anual varia uniformemente aos valores de entropia, mostrando com isso uma pequena oscilação de seus dados em torno dos valores médios.

A técnica da entropia se constitui uma ferramenta mais apropriada para expressar a variabilidade de dados em torno da média do que a técnica convencional do desvio-padrão.

A variabilidade dos padrões de ocorrência de precipitação no município de Teresina é maior nos períodos de La Niña do que nos períodos de EL Niño, com valores de entropia anual oscilando entre 2,68 bits (mínimo) e 6,47 bits (máximo), com um valor médio de 5,39 bits.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo ao primeiro autor e ao CNPq/FAPESQ ao quarto autor.

REFERÊNCIAS

- BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MEDEIROS R. M. Boletim Agrometeorológico do ano de 2002 para o município de Teresina, PI. Embrapa Meio-Norte. 2002. 37p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 66).
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: Tucci, C. E. M. (Org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação, UFRGS, ABRH, Porto Alegre. Cap. 5, p. 177-200, 1993.
- CHU, P. S. Diagnostic studies of rainfall anomalies in Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, v. 111, p. 1655-1664, 1983.
- DRAGOMIR, S. S.; SCHOLZ, M. L.; SUNDE, J. Some upper bounds for relative entropy an applications. *International Journal Computers and Mathematics with Applications*, v. 39, p. 9-100, 2000.
- KABERGER, T.; MANSSON, B. Entropy and economic processes – physics perspectives. *Ecological Economics*, v. 36, p. 65-179, 2001.
- KAWACHI, T.; MARUYAMA, T.; SINGH, V. P. Rainfall entropy delineation of water resources zones in Japan. *Journal of Hydrology*, v. 246, p. 36-44, 2001.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. KLIMATE DER ERDE. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.
- MEDEIROS, R. M. Estudo Agrometeorológico para o Estado do Piauí. p.120. 2013.
- MARUYAMA, T.; KAWACHI, M. T.; SINGH, V. P. Entropy-based assessment and clustering of potential water resources availability. *Journal of Hydrology*, v. 309, n. 1-4, p. 104-113, 2005.
- MONTAÑO, M. A. J.; EBELING, W.; POHL, T.; RAPP, P. E. Entropy and complexity of finite sequences as fluctuating quantities. *BioSystems*, n. 64, p. 23-32, 2001.
- MOULIN, G. D. Técnicas de entropia e de geoestatística no dimensionamento de redes pluviométricas. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Vitória, 2005.

RICOTTA, C. Bridging the gap between ecological diversity indices and measures of biodiversity with Shannon's entropy: comment to Izák and Papp. *Ecological Modeling*, n. 46, 1-3, 2001.

SHANNON, C. E. The mathematical theory of communications. I and II. *Bell System Tech. Journal*, 1948.

SILVA, V. P. R.; CAVALCANTI, E. P.; NASCIMENTO, M. G.; CAMPOS, J. H. B. C. 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, 2003.

SINGH, V. P.; RAJAGOPAL, A. K. Some recent advances in application of the principle of maximum entropy (POME) in hydrology. *IAHS*, v. 194, p. 353-364, 1987.

SOUSA, E. P.; SILVA, V. P. R.; CAMPOS, J. H. B. C.; OLIVEIRA, S. D. A Teoria da Entropia na Análise da Precipitação no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, n. 2, p. 386-399, 2012.

SOUSA, E. P. Delimitação dos recursos hídricos no Estado da Paraíba com base na teoria da entropia. 78 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2011.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. *Publ. Climatol. Lab. Climatol. Drexel Inst. Technol*, v.8, n.1, p.1-104, 1955.

UFOEGBUNE, G. C.; YUSUF, H. O.; ERUOLA, A. O.; AWOMESO, J. A. Estimation of Water Balance of Oyan Lake in the North West Region of Abeokuta, Nigeria. *British Journal of Environment e Climate Change*, v.1, n.1, p.13-27, 2011.

UVO, C. R. B. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte e nordeste brasileiro. Dissertação de mestrado. INPE, São José dos Campos, 1989.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, M. A. F. S.; DIAS, P. L. S. Inter-relações entre eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a chuva nas bacias hidrográficas do Ceará. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, p.111-126, 2003.