
VARIABILIDADE DA ENTROPIA PLUVIAL ENTRE OS MUNICÍPIOS SÃO BENTO DO UNA, SERRA TALHADA E CARUARU (PERNAMBUCO – BRASIL) EM PERÍODO DE EL NIÑO (A)

Raimundo Mainar de **MEDEIROS**

Pós-Doc., Dr. Universidade Federal Rural de Pernambuco – Departamento de Tecnologia
Rural- UFRPE

E-mail: mainarmedeiros@gmail.com

RESUMO: Avaliar a entropia da precipitação para os municípios de São Bento do Una, Serra Talhada e Caruaru - PE, durante os anos 2012, 2016, 2008 e 2011 com atuação do El Niño e La Niña e suas variabilidades nos períodos secos e chuvosos. Utilizou-se de cálculos estatisticamente para definir, média e seus comparativos. Os dados foram calculados em planilha eletrônica e aplicados às equações para a entropia anual, mensais e nos períodos seco e chuvoso, considerando como período seco os meses em que a precipitação foi inferior à média mensal anual. Os índices pluviométricos estão interligados as irregularidades e as atuações dos sistemas meteorológicos de micro e escala local que ocasionaram índices pluviométricos abaixo da média históricas municipais. Nos municípios: São Bento do Una e Serra Talhada a atuação do El Niño e La Niña não está relacionada a aumentos ou redução dos índices pluviométricos. Os cenários pluviométricos incorporam de forma adequada à variabilidade espacial e temporal das chuvas, é ajustada com a realidade, permitindo tornar a classificação e a regionalização climática acertada aos modelos de previsão em uso no Brasil. A entropia é uma técnica eficaz para a avaliação da variabilidade de dados em torno da média, podendo ser amplamente usada na meteorologia e climatologia.

Palavras-Chave: Teoria de Shannon, grandeza termodinâmica, variabilidade interanual.

VARIABILITY OF PLUVIAL ENTROPIA AMONG MUNICIPALITIES SÃO BENTO DO UNA, SERRA TALHADA AND CARUARU - PE, BRAZIL IN PERIOD OF EL NIÑO(A)

ABSTRACT: To evaluate the precipitation entropy for the municipalities of São Bento do Una, Serra Talhada and Caruaru - PE, during the years 2012, 2016, 2008 and 2011 with El Niño performance and its variability in dry and rainy periods. Statistical calculations were used to define the mean and its comparisons. The data were calculated in spreadsheet and applied to the equations for the annual entropy, monthly and in the dry and rainy periods, considering as dry period the months in which the precipitation was lower than the annual monthly average. The rainfall indexes are interlinked with the irregularities and the performances of the meteorological systems of micro and local scale that have caused rainfall indices below the historical municipal average. In the municipalities: São Bento do Una and Serra Talhada to the performance of El Niño La Niña is not related to increases or reduction of rainfall indexes. The rainfall scenarios adequately incorporate the spatial and temporal

variability of the rainfall, is adjusted with reality, allowing the classification and climatic regionalization to be adjusted to the forecast models in use in Brazil. Entropy is an effective technique for evaluating data variability around the mean and can be widely used in meteorology and climatology

Keyword: Shannon theory, thermodynamic magnitude, interannual variability.

VARIABILIDAD DE LA ENTROPIA PLUVIAL ENTRE LOS MUNICIPIOS SON SANTO DEL UNA, SIERRA TALLADA Y CARUARU (PERNAMBUCO - BRASIL) EN PERÍODO DE EL NIÑO (A)

RESUMEN: En los años 2012, 2016, 2008 y 2011 con actuación de El Niño e La Niña y sus variabilidades en los períodos secos y lluviosos, se evaluó la entropía de la precipitación para los municipios de São Bento do una, Serra Talada y Caruaru - PE, durante los años 2012, 2016, 2008 y 2011. Se utilizó de cálculos estadísticamente para definir, media y sus comparativos. Los datos fueron calculados en planilla electrónica y aplicados a las ecuaciones para la entropía anual, mensuales y en los períodos seco y lluvioso, considerando como período seco los meses en que la precipitación fue inferior a la media mensual anual. Los índices pluviales están interconectados con las irregularidades y las actuaciones de los sistemas meteorológicos de micro y escala local que ocasionaron índices pluviales por debajo de las medias históricas municipales. En los municipios: São Bento do una y Serra Talhada a la actuación de El Niño e La Niña no está relacionada a aumentos o reducción de los índices pluviales. Los escenarios pluviométricos incorporan de forma adecuada a la variabilidad espacial y temporal de las lluvias, se ajusta con la realidad, permitiendo hacer la clasificación y la regionalización climática acertada a los modelos de previsión en uso en Brasil. La entropía es una técnica eficaz para la evaluación de la variabilidad de datos en torno a la media, pudiendo ser ampliamente usada en la meteorología y climatología.

Palabras-Clave: Teoría de Shannon, grandeza termodinámica, variabilidad interanual.

INTRODUÇÃO

A entropia é uma grandeza termodinâmica em regra associada ao grau de desordem, medindo parte da energia que não pode ser transformada em trabalho, inicialmente utilizado por Clausius em 1850. É uma função de estado cujo valor cresce durante um processo natural em um sistema fechado, esta grandeza permite definir a Segunda Lei da Termodinâmica, assim, um processo tende a dar-se de forma espontânea em único sentido de acordo com Hastenrath (2012).

Nys *et al.* (2014) e Hastenrath (2012) afirmaram que a disponibilidade de chuva na região Semiárido do Brasil é caracterizada por uma distribuição irregular, de baixos índices pluviais e longos períodos de seca. Os períodos de estiagem, influenciados pelo El Niño (HASTENRATH, 2012; CAVALCANTI, 2012), ocasionam danos irreparáveis à população da região, em especial àqueles que retiram seu sustento da atividade agrícola de acordo com a afirmação de Rodriguez *et al.* (2015). Os diferentes sistemas atmosféricos que atuam nessa

região tornam a climatologia complexa, refletindo em uma grande variabilidade climática, considerando as chuvas, com eventos de precipitação variando no tempo e no espaço (SILVA, 2004).

Rodriguez *et al.* (2015) delimitaram regiões homogêneas com base na teoria da entropia na região semiárida brasileira, utilizaram as métricas sazonais que geraram os índices complexos como a duração da estação chuvosa, onde sua distribuição possibilitou o mapeamento da região descrita dando uma visão de suas devidas características.

Feng *et al.* (2013) e Kawachi *et al.* (2001) utilizaram o conceito de entropia para avaliar o grau de variabilidade da precipitação no Japão, os autores obtiveram mapas de disponibilidade hídrica, que permitiram analisar sua distribuição na área referenciada. Mostram ainda que com os dados pontuais de chuva anual e da entropia relativa foi possível impetrar as classes de sazonalidade da região.

Sousa *et al.* (2012) mostraram que em estudos de séries de dados observados menores de vinte anos, muitas vezes, a dificuldade na análise da distribuição de probabilidade de suas variáveis por métodos convencionais é complicada. Ao aplicar-se a teoria da entropia, a qual é capaz de determinar distribuições de probabilidade menos para pequenas amostras de dados obtenha resultados excelentes, desta forma a característica da entropia é particularmente importante principalmente em estudos onde a escassez de dados é grande.

A teoria da entropia pode ser aplicada a diferentes área e conhecimentos, Liu *et al.* (2010) utilizaram-se da teoria da entropia cruzada com o objetivo de analisar séries temporais de taxas de câmbio em países asiáticos verificando o nível de sincronia entre duas séries temporais. Para os autores, a entropia cruzada é bastante eficiente na descrição da correlação entre séries temporais.

Segundo Ortolani *et al.* (1987), a precipitação é um dos elementos do clima que mais influência na produtividade agrícola, principalmente em se tratando de regiões tropicais, tais como o nordeste do Brasil (NEB).

O conceito pode ser utilizado em diversas áreas do conhecimento, conforme Souza *et al.* (2012) que avaliou o grau de incerteza do padrão de distribuição das chuvas no estado da Paraíba, como também Melo *et al.* (2016), os quais avaliaram a entropia da precipitação no município de Cabaceiras – PB, e Patriota *et al.* (2018) avaliaram a entropia na bacia do rio Uruçuí Preto - PI. Esses autores afirmam que a entropia é uma ferramenta eficaz para representar a variabilidade dos dados em torno da média.

Medeiros *et al.* (2015) analisaram a série pluviométrica compreendida entre (1930-2010) para o município de Teresina - PI visando 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 oscilou uniformemente aos valores de entropia, mostrando com isso uma pequena variação 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, em vez da técnica convencional do desvio padrão. A variabilidade dos padrões de ocorrência de precipitação no município estudado é maior nos períodos de La Niña do que nos períodos de El Niño, com valores de entropia anual fluindo entre 2,68 bits (mínimo) e 6,47 bits (máximo), e com valor médio de 5,39 bits.

A incerteza é 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 P_i como a probabilidade de encontrar o sistema no i ésimo microestado, a entropia de Shannon é igual à entropia da mecânica estatística conforme afirmaram Silva *et al.* (2003).

Nesse contexto, o estudo buscou avaliar o índice de entropia da precipitação para os municípios de São Bento do Una, Serra Talhada e Caruaru - PE, durante os anos de 2012 e 2016, com atuação do El Niño, e os anos 2008 e 2011 com La Niña, e suas variabilidades nos meses secos e chuvosos.

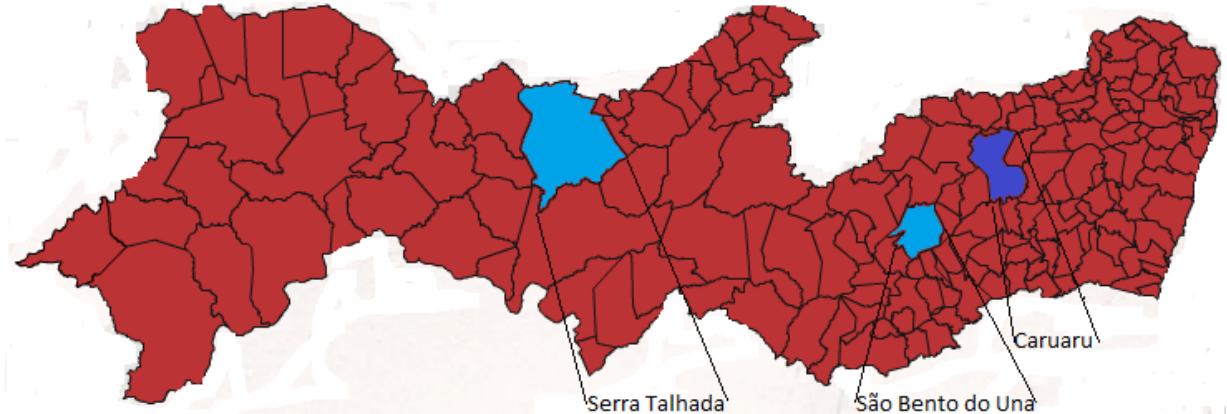
METODOLOGIA DA PESQUISA

Procedimentos metodológicos

Área de estudo

São Bento do Una localiza-se na mesorregião Agreste e na Microrregião do Vale do Ipojuca do Estado de Pernambuco com coordenadas geográficas de 08°31'22" de latitude sul e 36°06'40" de longitude oeste e altitude de 614 metros. O município de Serra Talhada localizada no território do Pajeú na mesorregião do Sertão do estado de Pernambuco localiza-se na coordenadas geográficas de latitude 07°59' Sul e longitude 38°17' Oeste com altitude média de 429 m. O município de Caruaru está localizado na mesorregião Agreste e na Microrregião do Vale do Ipojuca. O município têm suas coordenadas geográficas latitude de 08°17'S e de longitude 35° 58'Oeste com altitude de 554 metros. (Figura 1.).

Figura 1. Localização dos municípios de Serra Talhada, São Bento do Una e Caruaru dentro do Estado do Pernambuco.



Fonte: Adaptada pelo autor. (2018).

Segundo a classificação climática por Köppen (1928) São Bento do Una e Serra Talhada tem o clima tipo As - Tropical Chuvoso, com verão seco. O clima de Caruaru é semiárido e sua classificação é do tipo BSh. Estas classificações estão de acordo com Medeiros *et al.* (2018) e Alvares *et al.* (2014).

Os dados pluviométricos utilizados foram fornecidos pela Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC, 2017), compreendido entre os anos de 2012 e 2016, de ocorrências de El Niño, e os anos de 2008 e 2011, com ocorrência de La Niña. Utilizou-se de cálculos simplificados estatisticamente para definir, média e seus comparativos. Os dados foram calculados em planilha eletrônica e aplicados às equações como descrito a seguir para a entropia anual, mensais e nos períodos seco e chuvoso, considerando como período seca os meses em que a precipitação total foi inferior à média mensal do ano.

A entropia é considerada como a estimativa da incerteza de que ocorra evento em um processo aleatório, essa foi obtida conforme a equação abaixo, proposta por Shannon (1948):

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

Onde:

H = entropia da variável aleatória (Bits);

n = número possível de eventos para a variável;

ri = representa a precipitação pluviual diária; e

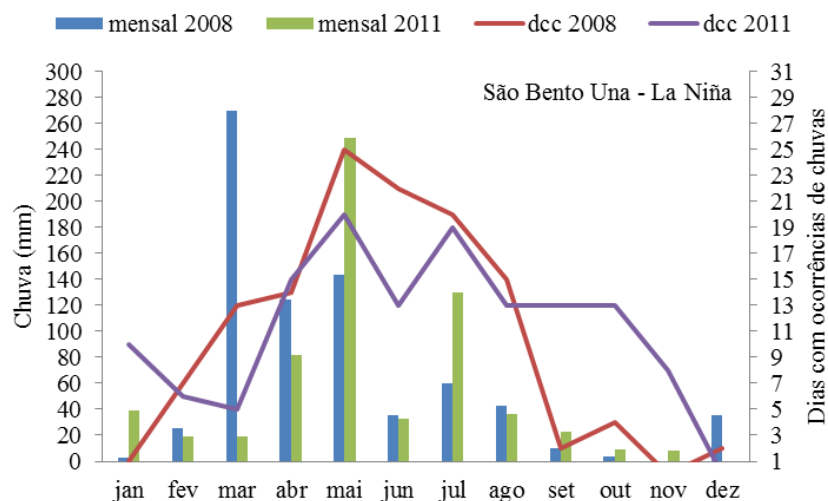
R = representa a soma da precipitação da série analisada.

Para os cálculos da entropia no período seco consideraram-se os meses de agosto a janeiro para os municípios São Bento do Una e Caruaru, e os meses de junho a novembro para o município de Serra Talhada, pois os acumulados pluviais destes meses são inferiores à média histórica. Os meses dos períodos chuvosos foram fevereiro a julho em São Bento do Una, Caruaru e para Serra Talhada os meses de dezembro a maio sendo os meses com altos valores pluviais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variabilidades nos índices pluviais mensais e dias com ocorrências de chuvas (dcc) dos anos de 2008 e 2011 para o município de São Bento do Una em período ocorrências de La Niña moderada estão representados na Figura 2, os meses de março, abril, maio e julho de 2008 apresentam maiores índices pluviais assim como os maiores dias com registro de chuvas. Os meses de setembro, outubro, novembro e janeiro registraram a menor precipitação inferior à média mensal anual e as menores quantidades de dias com ocorrências de chuvas. No ano de 2011 destacam-se os meses de abril, maio, julho e agosto com índices pluviais fluindo entre 40 mm a 250 mm e com dias de ocorrências de chuvas oscilando entre 13 a 17 dias.

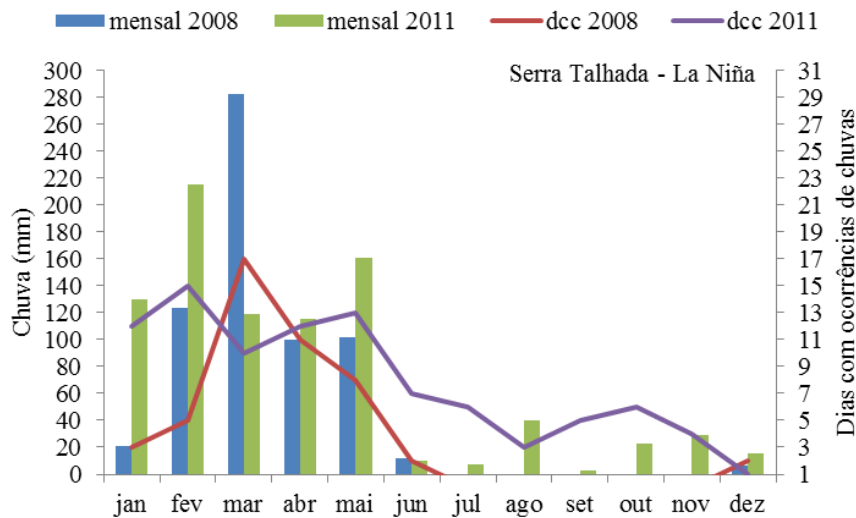
Figura 2. Comportamento da precipitação pluviométrica e dias com ocorrências de chuvas (dcc) em São Bento do Una para os anos de 2008 e 2011 em fase da La Niña.



Na Figura 3 destaca-se o comportamento da precipitação e dias com ocorrências de chuvas (dcc) em Serra Talhada para os anos de 2008 e 2011 em fase da atuação da La Niña

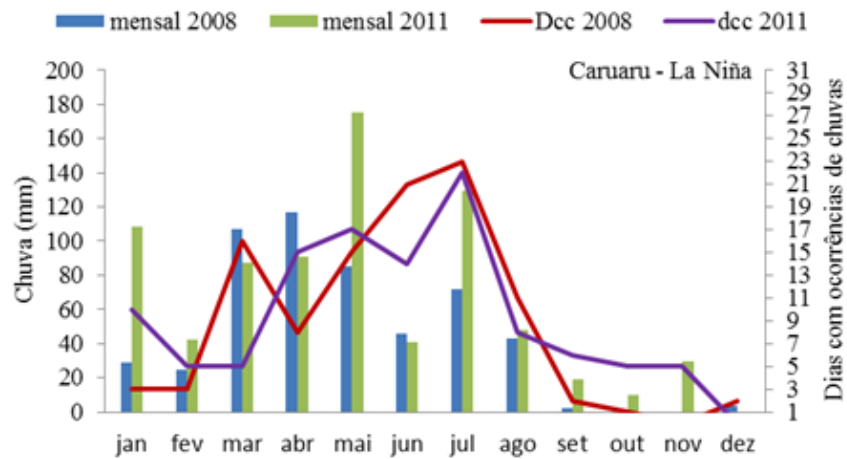
moderada. No ano 2008 observa-se que nos meses de fevereiro a maio como os de maiores índices pluviométricos e com dias de ocorrências de chuvas fluindo entre 3 a 16 dias, os meses de julho a novembro foram de baixas precipitações e de dcc. No ano de 2011 os meses de janeiro a maio foram registrados como maiores pluviométricos e dcc fluindo entre 3 e 16 dias.

Figura 3. Comportamento da precipitação pluviométrica e dias com ocorrências de chuvas (dcc) em Serra Talhada para os anos de 2008 e 2011 em fase da La Niña.



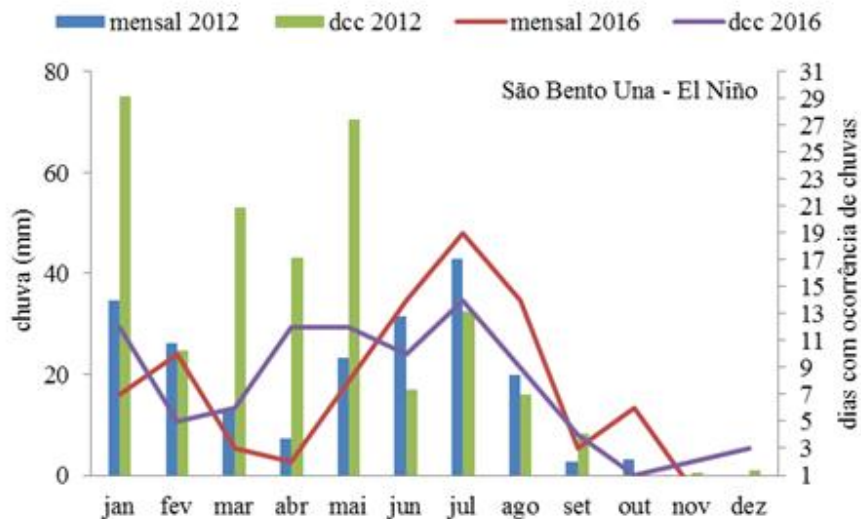
Na Figura 4 visualizam-se os totais mensais pluviais dos anos de 2008 e 2011 seguidamente dos dias com ocorrências de chuvas para o município de Caruaru. No ano de 2008 os meses de elevadas incidências pluviais registraram-se entre março a agosto.

Figura 4. Comportamento da precipitação pluviométrica e dias com ocorrências de chuvas (dcc) em Caruaru para os anos de 2008 e 2011 em fase da La Niña.



Na Figura 5 são apresentadas as oscilações da precipitação e dias com ocorrências de chuvas (dcc) em São Bento do Una para os anos de 2012 e 2016 em fase da El Niño.

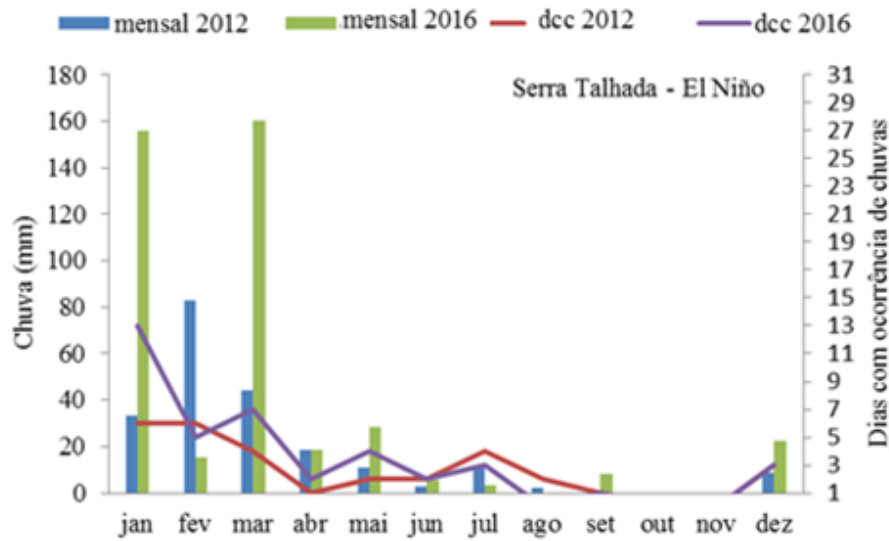
Figura 5. Variabilidade da precipitação e dias com ocorrências de chuvas (dcc) em São Bento do Una para os anos de 2012 e 2016 em fase do El Niño.



Nos meses de março a abril de 2008 registraram-se índices pluviométricos oscilando entre 120 mm a 270 mm com ocorrências de dias de chuvas fluindo entre 13 e 24 dias. Nos meses de setembro, outubro e novembro ocorreram os menores índices pluviométricos e dias de ocorrências de chuvas. No ano de 2011 os meses de abril, maio e julho ocorreram chuvas oscilando entre 80 mm a 250 mm com dias de chuvas fluindo entre 11 e 19 dias. Entre setembro a novembro registraram-se índices pluviométricos inferiores a 5 mm e com 13 dias de chuvas. Esta irregularidade está interligada aos efeitos locais e regionais.

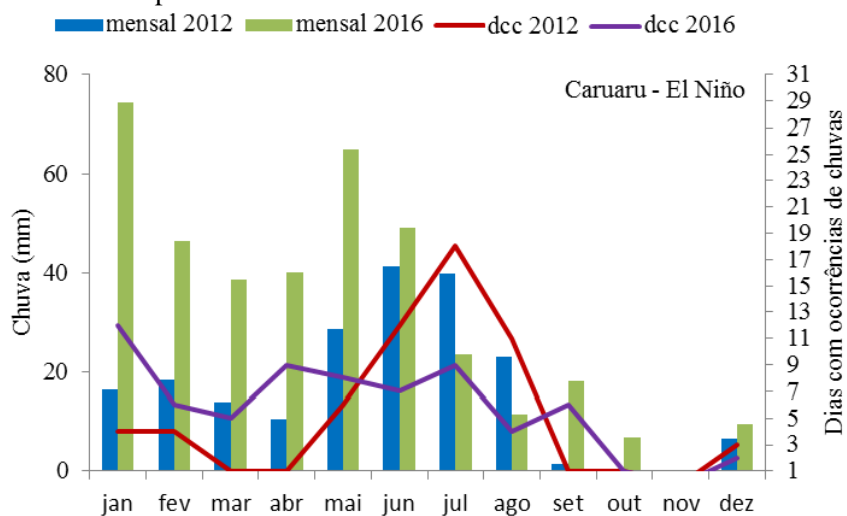
Na Figura 6 têm-se as flutuações pluviométricas e dias com ocorrências de chuvas (dcc) no município de Serra Talhada para os anos de 2012 e 2016 em fase do fenômeno El Niño de intensidade forte. Comparando-se os índices pluviométricos do ano de 2012 com o do ano de 2016 observam-se irregularidades pluviométricas entre os anos estudados, e nos dias com ocorrências de chuvas. Estas irregularidades estão de acordo com o estudo de Marengo *et al.* (2010) e Noronha *et al.* (2016) sobre a ocorrência prolongada de secas em virtude da mudança climática, demonstrando a necessidade de melhor entendimento e previsão de ocorrência. Salienta-se que as intensidades dos fenômenos El Niño e La Niña não alteram as oscilações pluviométricas para a área de estudo.

Figura 6. Comportamento da precipitação pluviométrica e dias com ocorrências de chuvas (dcc) no município de Serra Talhada para os anos de 2012 e 2016 em fase do El Niño.



Na Figura 7 observa-se o comportamento da precipitação e dias com ocorrências de chuvas (dcc) em Caruaru para os anos de 2012 e 2016 em fase do El Niño. O ano de 2016 registraram-se flutuações de dias com chuvas variando de 0 (zero) dias nos meses de setembro, outubro, novembro e março, a 18 dcc em julho. No ano de 2012 os dias com ocorrências de chuvas (dcc) oscilando de 18 dias no mês de janeiro a zero dia nos meses de outubro e novembro. As irregularidades pluviais e suas oscilações interanual (Figura 7). Em conformidade com Marengo (2010) onde os eventos de El Niño e La Niña têm pouca influência ou variabilidade entre anos no NEB.

Figura 7. Comportamento da precipitação pluviométrica e dias com ocorrências de chuvas (dcc) em Caruaru para os anos de 2012 e 2016 em fase do El Niño.



Os valores de entropia (Bits) e da precipitação (mm) estão representados nas Tabelas 1 e 2 referente aos anos de 2012 e 2016 em período de El Niño.

A entropia anual é igual à soma do período seco e chuvoso, para São Bento do Una, ao passo que em Serra Talhada a entropia do período seco e chuvoso ultrapassa a anual em 2012, em Caruaru a entropia do período chuvoso supera a do período seco e chuvoso, a precipitação anual de 2002 mm iguala-se nos períodos seco e chuvoso com o anual (Tabela 1), dessa forma em uma escala anual os dados apresentam maior variabilidade, visto que o cálculo de entropia considera a ordem de registro de chuva diária (ri), e como há menor número de dias sem registro de precipitação a desordem dos dados é reduzida nessa escala.

Destacam-se os valores anuais de chuvas entre os municípios visto que sua diferença é de 10,6 mm. Demonstrando que os efeitos do El Niño não afetam as distribuições pluviais nos anos estudados.

Tabela 1. Comportamento da entropia anual e nos períodos secos e chuvosos nos municípios de São Bento do Una, Serra Talhada e Caruaru para o ano de 2012 em fase do El Niño.

Municípios Período	São Bento Una			Serra Talhada			Caruaru		
	Anual	Seco	Chuvoso	Anual	Seco	Chuvoso	Anual	Seco	Chuvoso
Entropia(Bits)	5,55	1,69	3,86	3,73	0,50	3,24	0,87	0,38	0,48
Precipitação (mm)	204,5	60,4	144,1	215,1	17,0	198,1	200,2	47,8	152,4

Fonte: Medeiros (2018).

No comparativo da entropia para o ano de 2016 em fase do fenômeno El Niño entre os municípios de São Bento do Una, Serra Talhada e Caruaru (Tabela 2). Tem-se o valor da entropia anual de 4,65 Bits em São Bento do Una, 3,47 Bits em Serra Talhada e 5,13 Bits para o município de Caruaru nos períodos secos e chuvosos as somas das entropias se equilibram com o valor anual demonstrando que a desordem pluvial foi significativa no município de Serra Talhada, por registrar menor número de dias sem registro de precipitação, já em Caruaru a desordem foi bem elevada demonstrando que os índices foram de grandes irregularidades comparadas aos dois municípios estudados.

Tabela 2. Variabilidade da entropia anual e nos períodos secos e chuvosos nos municípios de São Bento do Una, Serra Talhada e Caruaru para o ano de 2016 em fase do El Niño.

Municípios Período	São Bento Una			Serra Talhada			Caruaru		
	Anual	Seco	Chuvoso	Anual	Seco	Chuvoso	Anual	Seco	Chuvoso
Entropia (Bits)	4,65	0,12	4,53	3,47	0,27	3,20	5,13	3,48	1,65
Precipitação (mm)	646,5	11,9	634,6	417,5	17,1	400,6	371,4	105,3	266,1

Fonte: Medeiros (2018).

A entropia anual em bits para Caruaru foi superior à de São Bento do Una e Serra Talhada, isso pode se dá devido ao fato de que ocorreram irregularidades nos meses chuvosos, pois a maioria não registrou chuva (não choveu), mas como a entropia não considera a ordem dos registros e sim o conjunto dos dados a entropia marginal foi baixa, mostrando grande grau de desordem.

Nas Tabelas 3 e 4, têm-se as flutuações dos comportamentos da entropia anual e nos períodos secos e chuvosos nos municípios de São Bento do Una, Serra Talhada e Caruaru para o ano de 2008 e 2011 em fase da La Niña.

A variabilidade da entropia na fase da La Niña pode ser visualizada na tabela 3 correspondendo ao ano de 2008. São Bento Una e Caruaru registraram entropia anual de 5,38 Bits e 5,53 Bits ao passo que Serra Talhada apresentou uma entropia anual de 4,65 Bits, demonstrando que o índice de desordem foram maiores em São Bento do Una e Caruaru.

Os índices pluviiais em fase da La Niña foram diferenciados entre os municípios estudados demonstrando que a La Niña no ano de 2008 contribuiu para os aumentos pluviiais e a desordem da entropia nos municípios estudados.

Tabela 3. Entropia anual e nos períodos secos e chuvosos nos municípios de São Bento do Una, Serra Talhada e Caruaru para o ano de 2008 em fase da La Niña.

Municípios Período	São Bento Una			Serra Talhada			Caruaru		
	Anual	Seco	Chuvoso	Anual	Seco	Chuvoso	Anual	Seco	Chuvoso
Entropia(Bits)	5,38	0,80	4,59	4,65	0,12	4,53	5,53	2,09	3,44
Precipitação (mm)	752,0	94,4	657,6	646,5	11,9	634,6	530,1	163,7	366,4

Fonte: Medeiros (2018).

Na tabela 4 pode ser visualizada a variabilidade da entropia na fase da La Niña corresponde ao ano de 2011. Os valores das entropias anuais foram de 5,59 Bits para São Bento do Una, 5,32 Bits para Serra Talhada e 5,73 Bits para o município de Caruaru, mostrando que a desordem entre os municípios estudos foram de pequenas variações contribuindo para as variabilidades dos índices pluviiais no ano de 2011.

Tabela 4. Comportamento da entropia anual e nos períodos secos e chuvosos nos municípios de São Bento do Una, Serra Talhada e caruaru para o ano de 2011 em fase da La Niña.

Municípios Período	São Bento Una			Serra Talhada			Caruaru		
	Anual	Seco	Chuvoso	Anual	Seco	Chuvoso	Anual	Seco	Chuvoso
Entropia(Bits)	5,59	1,34	4,26	5,32	0,83	4,49	5,73	2,28	3,44
Precipitação(mm)	646,7	115,3	531,4	866,4	111,6	754,8	781,4	276,8	504,8

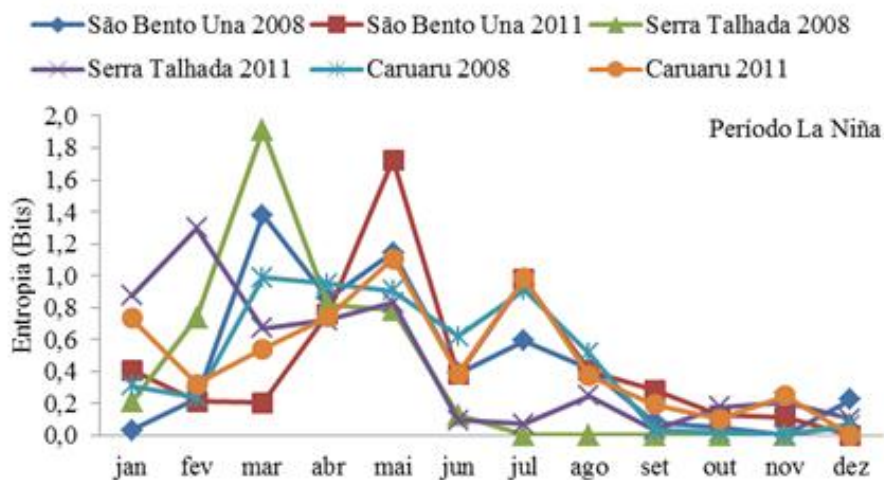
Fonte: Medeiros (2018).

A entropia anual em bits superou à do período chuvoso, isso pode se dá devido ao fato de que ocorram irregularidades nos meses chuvosos, pois em sua maioria não se registrou

ocorrências de chuva, mas como a entropia não considera a ordem dos registros e sim o conjunto dos dados a entropia marginal foi baixa, mostrando elevado grau de desordem. No período seco os valores da entropia em ambos os municípios e anos foram diferenciados demonstrando que a ocorrência das chuvas foram de altíssimas irregularidades.

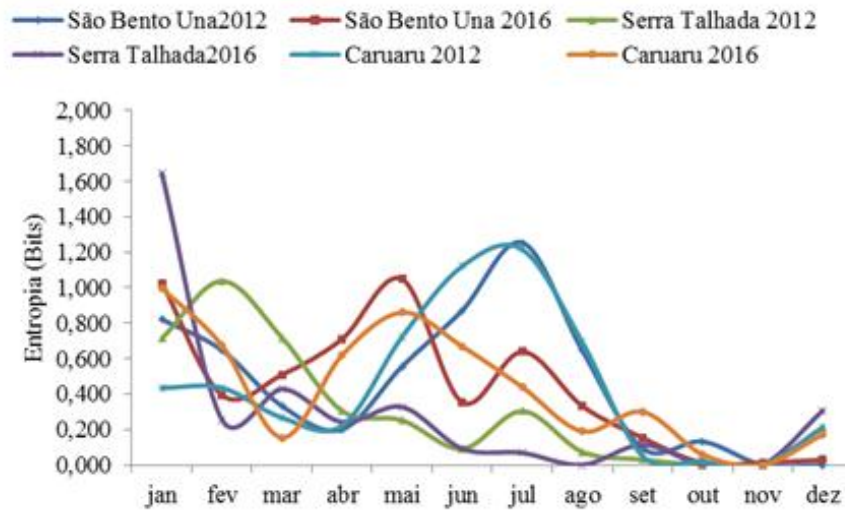
A técnica de entropia é mais eficiente que a técnica convencional da variância para detectar a desordem dos dados em torno da média de acordo com os autores Maruyama *et al.* (2005) e Melo *et al.* (2016). Analisando a entropia em escala mensal, nota-se que os meses de maior precipitação e de maior número de dias com chuva são os que apresentam maior entropia em Bits (Figura 7 e 8), como é possível verificar na Figura 9 são os meses de fevereiro a abril e junho e julho, dessa forma pode-se afirmar que há uma maior uniformidade no regime de chuvas nesses meses. A entropia nos meses de agosto a dezembro foi nula (valor zero), visto que não houve registro de chuvas e mesmo havendo em dezembro segundo Melo *et al.* (2016) para séries em que há apenas um valor de pi (registro de chuva) a entropia é zero.

Figura 9. Comportamento da entropia mensal para os municípios de São Bento do Una, Serra Talhada e Caruaru nos anos de 2008 e 2011 em período de La Niña.



A distribuição da entropia referente aos anos de 2012 e 2016 para os municípios de São Bento do Una, Serra Talhada e Caruaru em período de El Niño está indicada na Figura 9. Observa-se a desordem com maiores intensidades nos anos de 2012 em Caruaru, e Serra Talhada no ano de 2012 entre os meses de maio a agosto. No ano de 2016 a desordem da entropia foram mais organizadas e suavizadas. Estudo como o realizado por Kawachi *et al.* (2001) vem a corroborar com os resultados aqui discutidos.

Figura 9. Comportamento da entropia mensal para os municípios de São Bento do Una, Serra Talhada e Caruaru nos anos de 2012 e 2016 em período de El Niño.



CONCLUSÃO

Os índices pluviométricos estão interligados às irregularidades e às atuações dos sistemas meteorológicos atuantes de micro e meso escala local que ocasionaram índices pluviométricos abaixo da média histórica municipal.

Nos municípios de São Bento do Una, Serra Talhada e Caruaru a atuação do fenômeno El Niño não está relacionada a aumentos e/ou redução dos índices pluviométricos. Nos anos de 2008 e 2011 o fenômeno La Niña contribuiu para a influência anual dos índices pluviométricos e a desordem da entropia.

Registraram-se altos valores de entropia em locais com intensa precipitação, e valores de entropias baixas em locais de menores pluviometrias, ocasionados pelas irregularidades pluviométricas.

Os cenários pluviométricos incorporam de forma mais adequada à variabilidade espacial e temporal das chuvas, são ajustados com a realidade física, permitindo tornar a classificação e a regionalização climática dinâmica e acertada aos modelos de previsão climática em uso no Brasil. Fornecendo subsídios à agricultura e ao armazenamento de água na região semiárida.

A entropia é uma técnica eficaz para a avaliação da variabilidade de dados pluviométricos em torno da média, podendo ser amplamente usada na meteorologia e climatologia.

A estação seca da área de estudo apresenta uma baixa entropia, demonstrando assim uma variabilidade na precipitação superior à da estação chuvosa e da série anual.

Trabalho enviado em março de 2019
Trabalho aceito em maio de 2019

REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G., 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711–728.

APAC., 2017. Agencia pernambucana de água e clima.

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

FENG, X.; PORPORATO, A.; RODRIGUEZ-ITURBE, I., 2013. Changes in rainfall seasonality in the tropics. *Nature Climate Change*, v. 3, p. 811-815.

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

KAWACHI, T.; MARUYAMA, T.; SINGH, V.P., 2001. Rainfall entropy delineation of water resources zones in Japan. *Journal of Hydrology*, v. 246, p. 36-44.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R., 1928. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlagcondicionadas. Justus Perthes. n.p.

LIU, L.Z.; QIAN, X.Y.; LUA, H.Y., 2010. Cross-sample entropy of foreign exchange time series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 389, n. 21, p. 4785-4792.

MARENGO, J.A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; RENOM, M., 2010. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. *Climatic Change*, v. 98, n. 3-4, p. 509-529.

MARUYAMA, T.; KAWACHI, M.T.; SINGH, V.P. 2005. Entropy-based assessment and clustering of potential water resources availability. *Journal of Hydrology*, v.309, n.1-4, p.104-113.

MEDEIROS, R.M.; HOLANDA, R.M.; VIANA, M.A.; SILVA, V.P., 2018. Climate classification in Köppen model for the state of Pernambuco – Brazil. *Revista de Geografia (Recife)* V. 35, No. 3, 219-234.

MEDEIROS, R.M.; SILVA, V.P.R.; GOMES FILHO, M.F., 2015. Aplicação da teoria da entropia no estudo da precipitação pluvial em Teresina - PI. *Revista de Geografia (UFPE)* V. 32, No. 2, p.206-218.

MELO, V.S.; MEDEIROS, R.M., 2016. Entropia da precipitação pluvial no município de Cabaceiras – PB, Brasil. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* v.10, nº.5, p. 952 - 964, ISSN 1982-7679 (On-line) Fortaleza, CE, INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br> DOI: 10.7127/rbai.v10n500474 Protocolo 474.16 – 18/08/2016 Aprovado em 14/10/2016.

NORONHA, G.C.D.; HORA, M.D.A.G.M.; SILVA, L.P.D., 2016. Rain Anomaly Index Analysis for the Santa Maria/Cambiocó Catchment, Rio de Janeiro State, Brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 1, p. 74-81.

NYS, E.D.; ENGLE, N., 2014. Living with the semi-arid and proactive drought management in Northeast Brazil: a new perspective. Washington, DC: World Bank Group. Available from:<http://www.worldbank.org/pt/country/brazil/brief/brazil-publications-agua-brasil-series-water>.

ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, M.B.P., 1987. Influência dos fatores climáticos na produção. *Ecofisiologia da Produção Agrícola*. Piracicaba: Potafos, p.249.

PATRIOTA, M.R.A.; MELO, V.S.; MEDEIROS, R.M; SOUSA, F.A.S., 2018. Análise da entropia da precipitação na bacia hidrográfica do rio Uruçuí – Preto – PI, Brasil In: *Análise de Impactos e Riscos Ambientais em Bacias Hidrográficas*. 1 ed. Mossoró - RN : EDUERN, 2018., 2018, v.1, p. 12-27.

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

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

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

SHANNON, C.E.; WEAVER, W., 1948. *The mathematical theory of communications*. Urbana: University Illinois Press, 125p.

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