

PKS

**PUBLIC
KNOWLEDGE
PROJECT**

**REVISTA DE GEOGRAFIA
(UFPE)**

www.ufpe.br/revistageografia

OJS

**OPEN
JOURNAL
SYSTEMS**

POTENCIAL DOS RECURSOS HÍDRICOS A PARTIR DA INTENSIDADE E DISTRIBUIÇÃO DA ENTROPIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E AGRUPAMENTOS NO ESTADO DO PIAUÍ

Roni Valter de Souza Guedes¹; Francisco de Assis S. de Sousa²

¹*Meteorologista, D.Sc., Pós-graduando, e-mail: roniguedes84@yahoo.com.br*

²*Meteorologista, Prof. Associado III, D.Sc. Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, UFCG/Campina Grande – PB, e-mail: fassis@dca.ufcg.edu.br.*

Artigo recebido em 20/05/2011 e aceito em 20/09/2011

RESUMO

O objetivo deste estudo é definir, com base na teoria da informação da entropia de Shannon, métricas para representar a aleatoriedade da intensidade e da ocorrência da chuva mensal e, em seguida, avaliar a disponibilidade potencial de recursos hídricos (DPRH) do estado do Piauí. Aqui a entropia é expressa no contexto de probabilidade de ocorrência da intensidade de variáveis hidrológicas, isto é, no contexto da estrutura da IE. Os resultados mostraram que a parte oeste possui os melhores valores de intensidade e densidade de entropia, com chuvas perenes e mais abundantes, enquanto que o lado leste e sul apresentaram valores negativos, com chuvas concentradas no tempo e baixa oferta. Os agrupamentos identificaram subdivisões dos níveis de recursos hídricos no Piauí, mostrando os postos com déficit, áreas de transição e com melhor potencial. Em geral, o vale do rio Parnaíba se mostrou propício para a produção de inúmeras culturas.

Palavras-chave: teoria da informação de Shannon, precipitação e k-média

WATER RESOURCE POTENTIAL FROM THE INTENSITY AND DISTRIBUTION OF RAINFALL ENTROPY AND GROUPS IN THE PIAUI STATE

ABSTRACT

The objective of this study is to define, based on information Shannon's entropy theory, metric to represent the randomness of the intensity and occurrence of monthly rainfall, and then evaluate the potential availability of water resources (PWRA) the Piauí state. Here, the entropy is expressed in the context of probability of the intensity of hydrological variables, i.e, in the context of the structure of IE. The results showed the west side has the best values of intensity and density of entropy, with perennials and more abundant rainfall, while the east and south were negative, with rains concentrated in time and low supply. The clusters identified subdivisions in the water resource's levels in Piauí state, showing the rain gauge with deficit, and transition areas with better potential. In general, the valley Parnaíba river proved conducive to the production of many crops.

Keywords: Shannon's information theory, precipitation and k-means

INTRODUÇÃO

A irregularidade (ou incerteza) da intensidade e ocorrência de chuva no tempo é uma das primeiras restrições para o desenvolvimento dos recursos hídricos e práticas de uso da água. Ao se desenvolver uma estratégia de âmbito regional para os recursos hídricos, com demandas atual e futura de água, encontram-se fatores dominantes para a tomada de decisão de prioridades para o desenvolvimento de grandes áreas ou demarcar os limites a fim de estabelecer a necessidades e viabilidade local. Uma medida de incerteza ou irregularidade de uma variável é a entropia. Usando a teoria de informação da entropia, definida por Shannon (1948), a incerteza de uma variável ou a incerteza de sua distribuição de probabilidade é o valor esperado negativo do logaritmo da FDP da variável.

Caracteristicamente o acréscimo da aleatoriedade ou irregularidade de uma variável causa decréscimo no coeficiente de assimetria da distribuição de probabilidade e, dessa forma conduzindo a amostra para o aumento da entropia. Entropia assume valor máximo quando a distribuição de probabilidade é uniforme sem qualquer desvio, enquanto reduz a zero quando um particular valor da variável acontece com probabilidade um. Por exemplo, Al-Zahrani and Husain

(1998) utilizaram a teoria da informação de Shannon para otimizar e detectar irregularidades em uma rede hidrometeorológica, localizada no sudeste da Arábia Saudita. Os resultados mostraram que das setenta estações que compõe a rede apenas 45 seriam necessárias, dessas algumas deveriam ser remanejadas e as demais descartadas. Outro trabalho de aplicação direta da teoria de Shannon foi efetuado por Kawachi et al. (2001), eles utilizaram essa teoria para estimar e construir mapas de entropia e de isoentropia em todo o território japonês. Obtiveram como resultado principal a disponibilidade potencial de recursos hídricos em todo o país. A variância, uma técnica convencional e muito utilizada, também pode quantificar irregularidades em torno do valor médio de uma distribuição de frequência. Porém, a entropia é mais poderosa e geral do que a variância. Como se sabe (Kagan, et al., 1973), quando a entropia de uma variável aleatória é maximizada sob a restrição de que a variância e a média são conhecidas para uma série de valores da variável, a função densidade de probabilidade para essa série reduz-se a distribuição normal. Isto implicitamente significa que o uso da variância é limitado para o caso de a distribuição ser a normal. Em outras palavras, a metodologia baseada na entropia é aplicável a qualquer distribuição

sendo ela conhecida ou desconhecida a priori.

Com relação à região Nordeste do Brasil, o Estado do Piauí apresentou-se como uma área de transição entre a região pobre em recursos hídricos (semiárido) e outra com mais disponibilidade de recursos (meio-norte), obtendo pontos em diferentes categorias de Intensidade e densidade de entropia (Guedes, et. al. 2010). Assim, é importante observar com mais detalhes a classificação dos seus recursos hídricos, tendo apenas dados do Piauí como referência, para entender melhor suas peculiaridades geográficas e influência física sobre a aleatoriedade da variável em questão.

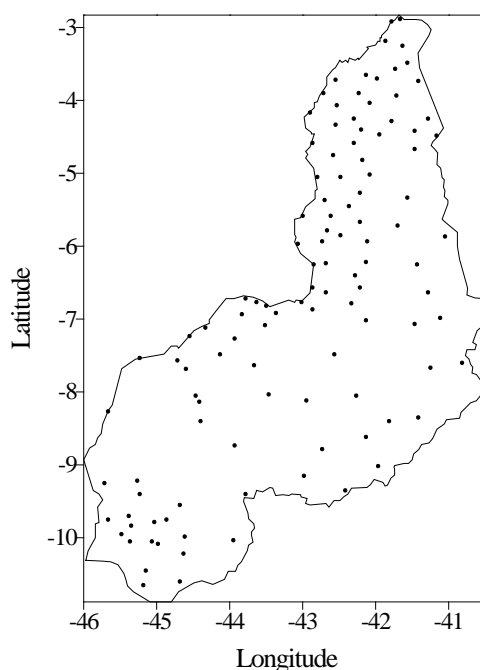
O objetivo deste estudo é definir de forma mais detalhada, com base na teoria da

informação da entropia de Shannon, a aleatoriedade da intensidade e da ocorrência da chuva mensal e detectar as áreas com maior potencial de recursos hídricos a partir de agrupamentos no Estado do Piauí.

MATERIAL E MÉTODOS.

Foram utilizados dados de totais mensais precipitados da grande maioria de postos pluviométricos presentes no Piauí, totalizando 115 estações. Os softwares usados foram Excel 2010 nos ajuste dos dados e construção dos gráficos, o Surfer 2007 na plotagem dos mapas e o SPSS 13.0 para efetuar a divisão de agrupamento pelo método K - Means. A Figura 1 exhibe a distribuição geográfica dos postos pluviométricos na região estudada.

Figura 1 - Distribuição espacial dos postos pluviométricos utilizados.



Neste estudo, primeiro a intensidade de chuva mensal (i.e. o total de chuva durante um mês) é considerada como uma variável aleatória. E a relação entre a intensidade e sua probabilidade de ocorrência (i.e. frequência), dentro de um determinado período de tempo é computada por formulação baseada na entropia. A entropia é então obtida e será denominada “intensidade de entropia (IE)”. Segundo, a taxa da chuva mensal em relação à soma (totais mensais precipitados durante um ano (i.e.chuva anual)) é considerada como outra variável aleatória. Essas intensidades relativas de chuvas durante um ano refletem o caráter probabilístico de ocorrência da chuva no ano. Visto que nessas taxas estão implicitamente consideradas as taxas de distribuição da chuva durante todos os meses do ano, a entropia assim calculada é chamada de “distribuição de entropia (DE)”.

Para se determinar a DPRH de uma área, usando IE e DE, é necessário distribuir espacialmente DE e IE de forma significativa. Para isto foi empregado o método do agrupamento simples. Essa metodologia foi aplicada para delimitar atributos regionais da DPRH na região estudada. Singh (1997) faz extensa revisão de aplicações da teoria da informação da entropia para vários problemas relacionados à hidrologia e aos recursos hídricos. Em todas as aplicações, contudo,

a entropia é expressa no contexto de probabilidade de ocorrência da “intensidade de variáveis hidrológicas”, isto é, no contexto da estrutura da IE. Focalizando a variabilidade temporal da chuva diária, Maruyama e Kawachi (1998) e Kawachi et al. (2001) empregaram a informação da entropia para estimar o grau de incerteza da ocorrência de chuva no tempo ou estimar a partição temporal da chuva de um ano para outro, baseando-se na função densidade de probabilidade dessa chuva, aleatoriamente dividida em tempos fragmentados. Em geral, é mais fácil se obter dados de chuva mensais do que diários. De qualquer forma, a DE em base mensal, como apresentada aqui, é também uma alternativa viável para base diária.

2.1. Caracterização da região estudada

A população Piauiense totaliza 3.118.360 habitantes, e uma área (km²) 251.576,644. As principais cidades são Teresina, Parnaíba, Picos, Floriano, entre outras (IBGE, 2009).

O estado do Piauí possuiu os menores valores de precipitação de 500 a 700 mm anuais na parte sudeste/leste, divisa com o estado do Pernambuco. Enquanto que os maiores valores anuais de precipitação acima de 1000 mm, estão na parte noroeste/oeste, divisa com o estado do Maranhão. De acordo com Guedes, et. al.

(2010) essa configuração é influenciada principalmente pela topografia, pois o Piauí possui relevo acentuado em torno dos 800 m próximo à área de menor precipitação, região inserida no semiárido nordestino. Enquanto os maiores valores de precipitação estão no vale do rio Parnaíba.

Ainda de acordo com Guedes, et. al. (2010) existem dois padrões de precipitação, explicados pela origem dos sistemas meteorológicos, mas ambos os padrões são concentrados em 5 meses. Mostrando a alta variabilidade e a necessidade de se identificar os locais mais críticos.

O estado é uma zona de transição entre o sertão nordestino de clima semiárido, solo raso e vegetação caatinga, com rios temporários, baixo índice pluviométrico com maior aleatoriedade e entre o Meio-norte, região influenciada pela Amazônia, com clima mais úmido, vegetação mais vistosa, economia agrícola e mais propícia ao turismo.

2.2. Seleção de pluviômetros

Aqui se apresenta o critério para realização da amostragem dos dados observados, para se avaliar a distribuição espacial da DPRH em termos da chuva. Os dados disponíveis de totais mensais de chuva foram considerados. Pluviômetros com amostras de dados inferiores a 25 anos de

observações ficaram de fora deste estudo. Os arquivos de dados de chuvas diárias foram manipulados para se obter valores mensais de chuvas. Usando esses valores mensais, as estimativas da IE e da DE foram estimadas para cada local ou pluviômetro. Dados adicionais foram obtidos em Vose et al., (1992).

2.3. Intensidade de entropia (IE)

Shannon (1948) definiu a entropia H para uma série de p_1, p_2, \dots, p_n probabilidades como:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log P_i$$

Quando se considera a intensidade ou total mensal de chuva como uma variável aleatória e p_i como sua probabilidade de ocorrência em uma série temporal de chuva, a entropia de intensidade (IE) pode ser calculada usando a equação (1). As probabilidades p_i para cada pluviômetro serão expressas de forma discreta levando em conta todos os valores de chuvas mensais disponíveis e suas ocorrências de probabilidades. A IE foi avaliada como segue:

- a) Reuniram-se todos os anos completos de observações mensais de chuva disponíveis em uma localidade ou pluviômetro. Assim, 12 meses x m anos = N dados mensais de chuva, ou seja,

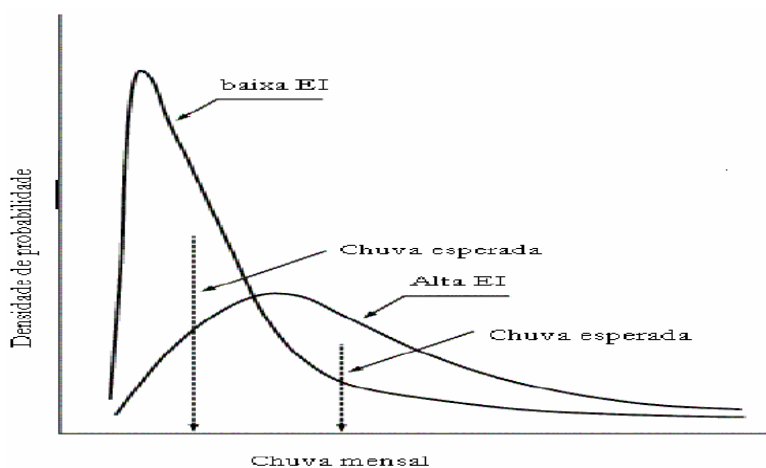
- com esse cálculo se obtém o tamanho da amostra N para cada localidade;
- b) Dividiram-se as amostras de dados de chuvas mensais em n classes de intervalos iguais;
 - c) Contaram-se as frequências f_i para cada classe i e, em seguida, construíram-se tabelas de distribuição de frequências;
 - d) Calcularam-se as frequências relativas (f_i/N) para cada classe i e, em seguida obteve-se a função densidade de probabilidade de forma discreta para todas as faixas de chuvas mensais;
 - e) Calcularam-se as entropias IE usando a equação (2) em termos dessas frequências relativas.

$$IE = -\sum_{i=1}^n (f_i / N) \log_2 (f_i / N)$$

em que n é o número de classes e f_i é a frequência para classe i . Aqui, a unidade da IE é “bit” com o logarítmico na base 2. IE , definida em uma faixa semi-infinita de

$0 < IE < \infty$ é uma medida para decifrar a intensidade aleatória da chuva mensal. Intensidade menos aleatória é medida por IE menor, indicando uma distribuição de frequência de ocorrências de chuvas mensal mais assimétrica. De forma contrária, intensidades mais aleatórias resultam em IE maior, estendendo-se sobre uma faixa maior de chuvas mensais. Porém, pode ser notado que a função de densidade probabilidade das intensidades das chuvas é sempre definida sobre uma abscissa positiva, incluindo sua origem zero, devido a não-negatividade da chuva. É fácil verificar que um acréscimo em IE resulta em acréscimo no valor esperado da chuva mensal, aplainando o gráfico da função (veja Figura 2). Isso sugere que IE é positivamente correlacionada à chuva mensal total esperada e pode ser, portanto, uma alternativa para o total de chuva agregada.

Figura 2 - Acréscimo da chuva esperada com o aumento de IE



2.4. Distribuição de entropia (DE)

Usando a equação (1), Kawachi et al. (2001) definiu a distribuição de entropia (DE) para chuva diária. De forma similar, a DE para chuva mensal pode ser definida. Seja r_i a chuva mensal agregada durante o i -ésimo mês de um ano. Assim, a chuva agregada durante o ano R pode ser expressa pela soma de r_i , com $i=1$ até 12:

$$R = \sum_{i=1}^{12} r_i$$

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

Então cada r_i deste vai representar uma série de precipitação e assim podemos encontrar a frequência relativa da precipitação (p_i) que será obtida dividindo-se r_i pelo tamanho total da amostra (R), ou seja:

$$p_i = \frac{r_i}{R}$$

Agora se empregando a teoria da informação de Shannon, podemos encontrar ED que será a distribuição representativa da variabilidade temporal da chuva mensal durante um ano. ED pode ser escrito como:

$$DE = -\sum_{i=1}^{12} P_i \log_2 p_i = -\sum_{i=1}^{12} (r_i / R) \log_2 (r_i / R)$$

em que a unidade de DE também é “bit” com o logarítmico na base 2. A IE, previamente definida, é exclusivamente estimada no respectivo pluviômetro ou

localidade, enquanto DE definida para um ano é estimada para cada um dos anos considerado para os respectivos pluviômetros ou locais. Portanto, os valores de DE obtidos para certo pluviômetro são simplesmente representados pela média desses valores. DE estima a aleatoriedade interanual (ou igualdade temporal) de eventos de chuvas mensais no tempo. Por definição, a equação (4) explica (4) quando o total de chuva anual é uniformemente distribuído para cada um dos 12 meses, com probabilidade igual a 1/12, DE assume seu valor máximo ($H = \log_2 12$). O valor mínimo DE ($H=0$) ocorre quando a distribuição é feita para apenas um dos 12 meses com uma probabilidade igual a um. Isso indica que DE assume um valor em uma faixa finita de $0 - \log_2 12$. Quanto maior o valor de DE tanto maior será a DPRH no tempo, com (4) menor variabilidade mensal ou sazonal da chuva.

2.5. Padronização

Baseado nas equações (2) e (5), duas séries de valores IE e DE podem ser estimadas para todas as localidades. Duas outras diferentes séries: IE* e DE* podem também ser obtidas (5) com base nas duas primeiras, respectivamente. A padronização dessas séries ajusta suas diferentes propriedades estocásticas, de modo que o valor da média é igual a zero e

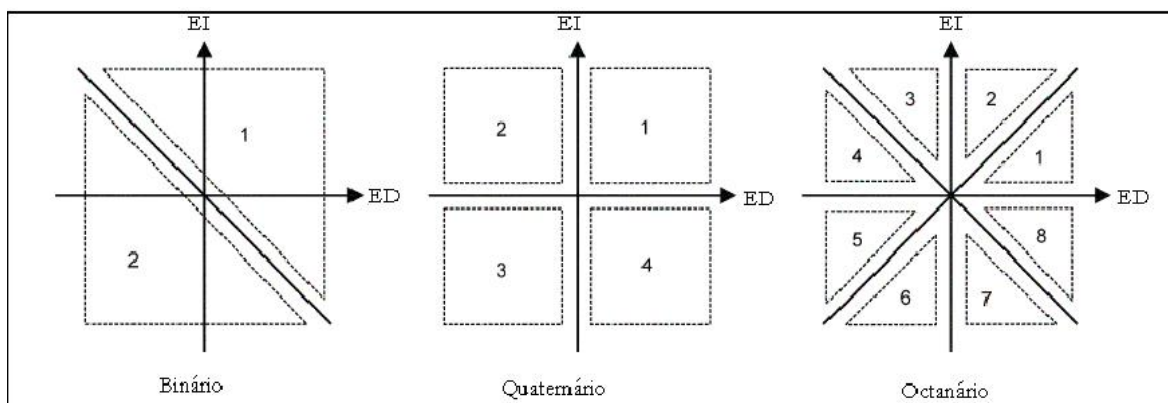
o do desvio-padrão igual a um. A equação (5) resume essa operação estatística:

$$X' = \frac{X - m_x}{\sigma_x}$$

em que X' é o valor padronizado de IE ou DE, X é o valor estimado em “bit” (IE ou DE), e m_x e σ_x são a média e o desvio-padrão para a X^* (IE* ou AE*), respectivamente. Por essa padronização, um diagrama de dispersão pode ser esboçado para ilustrar o local-dependência da relação entre IE e DE. Desse modo, a DPRH pode ser avaliada em sentido relativo para a área de estudo. Doravante, as anotações IE e DE serão usadas para entropias padronizadas.

2.6. Métodos de agrupamento

Figura 3 - Tipo de partições obtidas através de métodos de agrupamento.



O segundo agrupamento categoriza os pontos contra os valores médios de IE e DE ou contra $IE=0$ e $DE=0$ em quatro grupos. Portanto, o terceiro quadrante, no qual os valores de IE e DE são menores do que suas respectivas médias será, em

Diferentes pares de valores de IE* e DE* para diferentes locais da região foram plotados em diagrama de dispersão. As coordenadas de um ponto neste diagrama caracterizam a DPRH no local correspondente ao pluviômetro. Nota-se que os eixos do diagrama, ao usar valores padronizados de IE e DE, se tornam linhas dos valores médios de IE e DE, respectivamente. O agrupamento dos pontos pode conduzir a uma classificação significativa e delimitar zonas de recursos hídricos. Quanto maior o número de partições, tanto mais refinado será o agrupamento e a análise. Algumas partições de agrupamentos são mostradas na Figura 3, para três casos, de dois, quatro e oito agrupamentos.

média, categorizada como uma área pobre em recursos hídricos, apresentando baixa oferta e alta variabilidade da chuva. O primeiro quadrante é caracterizado como uma área abundante e perene de chuva. O segundo quadrante é uma zona onde a

chuva é relativamente abundante, mas concentrada no tempo. O quarto quadrante é uma área com chuvas perenes, mas de curta duração. Explicações semelhantes podem ser dadas para outros tipos de partições.

2.6.1. Método de agrupamento não hierárquico K- means

O método K- means possui um algoritmo de aprendizagem que organiza n objetos em k partições onde cada uma representa um grupo. O funcionamento dele é descrito por dividir os objetos em k grupos e, a partir da similaridade do valor da média dos atributos numéricos, agrupa os demais objetos em torno destes grupos previamente indicados.

É um método de partição que fornece indicações mais precisas sobre o número de conglomerados a ser formado. Este método é um dos mais utilizados quando se têm muitos objetos para agrupar, com pequenas variações. O critério mais utilizado para detectar homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre os grupos é o da soma dos quadrados residual baseado na Análise de Variância (Bussab et al., 1990). Assim, quanto menor for esse valor, mais homogêneos serão os elementos dentro de cada grupo e melhor será a partição.

Abaixo são apresentados os passos envolvidos no algoritmo k-médias,

onde k é o número de *clusters* (grupos) desejado e informado a priori:

- (1) Determinar as posições iniciais dos k centróides dos grupos;
- (2) Alocar cada elemento ao grupo do centróide mais próximo;
- (3) Recalcular os centros dos grupos a partir dos elementos alocados;
- (4) Repetir os passos de 2 a 4 segundo algum critério de convergência.

É possível mostrar que o método k - means produz um conjunto de grupos que minimiza o erro quadrático com relação aos centros de gravidade de cada grupo. Este método só produz bons resultados quando os grupos são “nuvens” compactas de dados, bem separadas umas das outras. A vantagem do método é sua eficiência em tratar grandes conjuntos de dados.

Suas desvantagens estão no fato do usuário ter que fornecer o número de grupos e no fato de ser sensível a ruídos, já que objetos com valores altos podem causar grande alteração no centro de gravidade dos grupos e assim, distorcer a distribuição dos dados nos mesmos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A duração do período de estiagem é similar em todas as sub-regiões do Piauí (Guedes, et. al. 2010), há modificação apenas no início e no final do período chuvoso. Isso significa que a distribuição

das chuvas, estimada pelo DE, é mais influenciada pelas chuvas ocorridas fora da estação chuvosa, oriundas de perturbações locais e de diferenças geográficas existentes em cada ponto.

Observa-se na Figura 4 que os valores de intensidade de entropia – IE são positivos no lado oeste do Estado e negativos na parte leste e extremo sul. Geograficamente, o relevo se configura como planície em todo o lado oeste, vale do rio Parnaíba, fonte local de umidade, juntamente com a influência da Amazônia sobre o meio-norte. Em contrapartida, a parte leste e extremo sul são regiões serranas, com relevos acentuados na divisa com o estado do Ceará, justificando os valores negativos de IE, pois a orografia, nesse caso, é um fator limitante para a dinâmica dos sistemas meteorológicos.

Como visto na metodologia valores baixos de IE indicam menor aleatoriedade da intensidade das chuvas. Esse fato conduz a uma distribuição simétrica de frequência de chuvas mensais. As maiores IE dos totais mensais precipitados podem se estender por meses, variando de um local para outro.

Já na Figura 5, o comportamento da densidade de entropia – DE mostra como se dá a distribuição temporal da chuva. Os maiores valores mostram a parte oeste com maior frequência de eventos de chuva e a parte leste com menor variabilidade

temporal. Observa-se que os locais de maior intensidade de chuva, apresentaram maior aleatoriedade. A explicação para isso é que os mecanismos causadores da precipitação se desintensificam com o tempo e provocam mais dias com chuva.

Algumas localidades possuem valores positivos de DE mesmo com IE negativos, mostrando que, mesmo sem ocorrer eventos intensos é possível se ter boa variabilidade e aumento do potencial de recursos hídricos, como ocorre, por exemplo, no ponto de latitude -8° e longitude $-43,4^{\circ}$.

Para verificar os pontos em que DE e IE tem sinais contrários ou iguais, o diagrama de dispersão ilustra o local-dependência da relação entre IE e DE. Desse modo, a DPRH pode ser avaliada em sentido relativo para a área de estudo. Assim, as Figuras 6, 7 e 8 mostram a distribuição do potencial hídrico para o Estado, correlacionando todos os postos selecionados. A maioria dos pontos está no primeiro quadrante, são os postos de melhor potencial hídrico. Os postos que apresentam os piores potenciais de recursos hídricos estão localizados no terceiro quadrante. Esses merecem maior atenção das autoridades no sentido de apoiarem projetos para mitigar os efeitos das secas e buscar alternativas econômicas.

Figura 4 - Mapa da intensidade de entropia (IE).

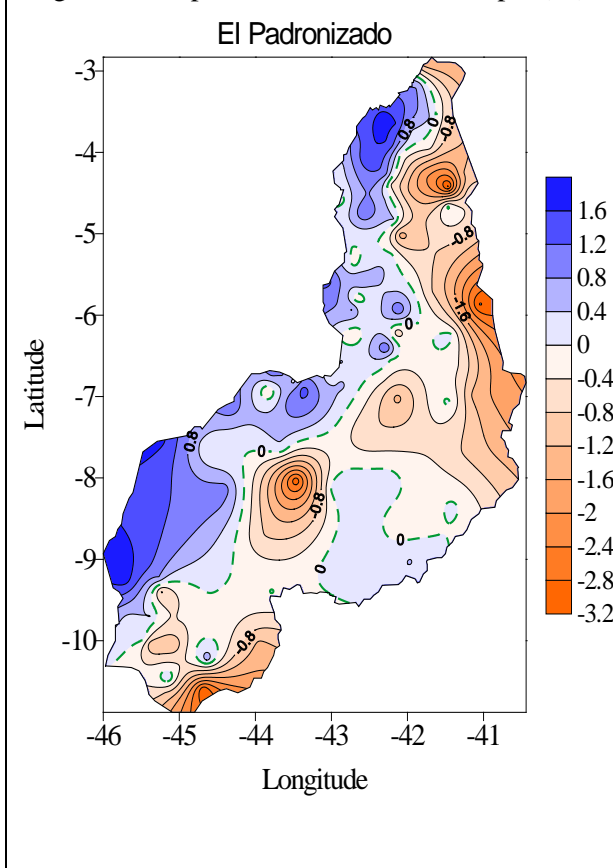
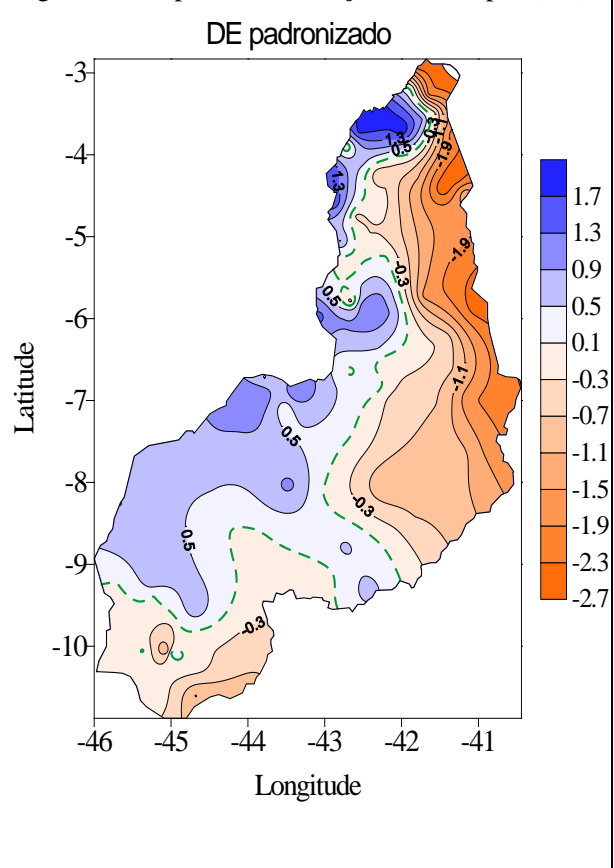


Figura 5 - Mapa da distribuição de entropia (DE).



Para identificar espacialmente os postos e qualificar seus potenciais hídricos, medidos com base na entropia, utilizou-se o método de agrupamento k-means, para obter 2, 4 e 8 grupos com características semelhantes. Os resultados da primeira divisão estão na Figura 6. O grupo 1 (vermelho) apresenta os postos com as piores situações hídricas e estão espacializados sobre o lado leste do Estado, com exceção de 3 postos no sul. O grupo 2 (azul) possui valores maiores tanto de IE como DE, então seu potencial de recursos hídricos é bem melhor. Embora

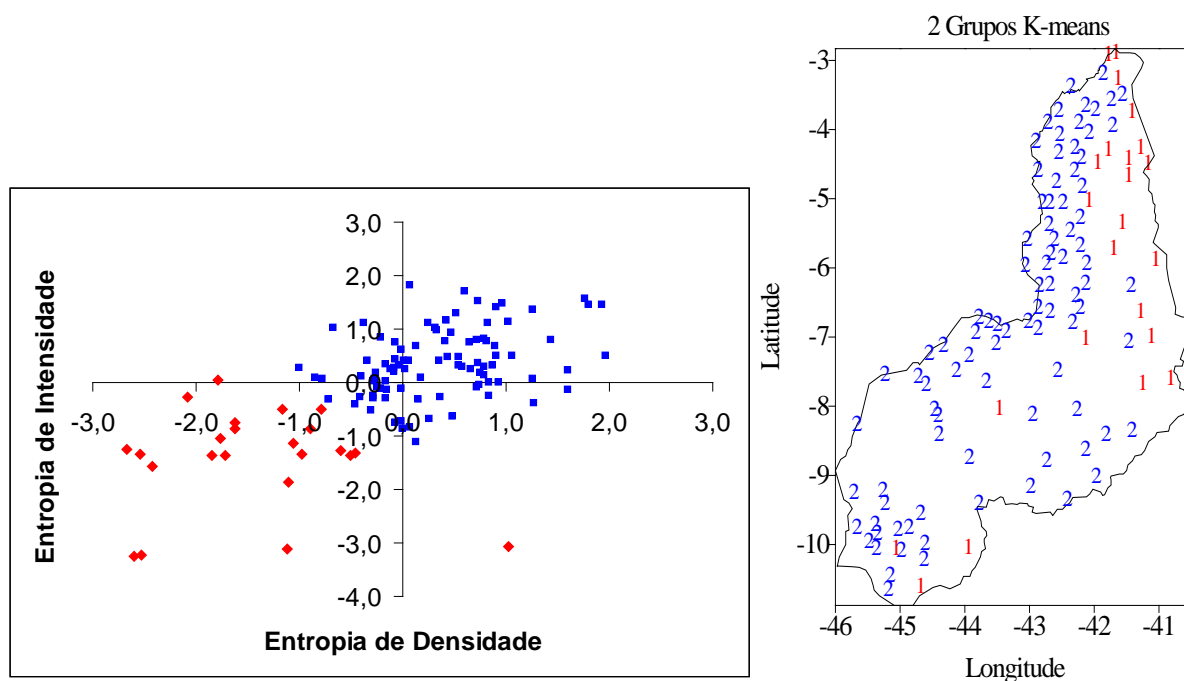
alguns postos no sul e sudeste possuam valores de precipitação menor que outros do oeste, eles são classificados no grupo 2 porque possuem variabilidade melhor que os do grupo 1. Assim é preciso fazer novas subdivisões para classificar melhor estes pontos.

Com o intuito de refinar e aperfeiçoar a compreensão das características de cada posto, a Figura 7 mostra a divisão dos postos em 4 partes, definindo mais precisamente as áreas intermediárias. O grupo 3 (azul) de maior potencial compreende a região do vale do rio

Parnaíba, com exceção de alguns postos, esse grupo tem maior precipitação e um número maior de dias de chuva. O novo grupo 2 (laranja) está distribuído por todo o Estado, dominando a parte central e o sul, suas características são de transição, como mostra no gráfico da dispersão, o grupo 2 são postos com valores próximos à média do Estado. O novo Grupo 1

(vermelho), postos de pior potencial, continuam na mesma área anterior, região leste e dois pontos no sul, provavelmente devido a orografia que atrapalha a inserção de umidade na região e assim reduz a intensidade das chuvas, assim sua ocorrência fica dependente de sistemas meteorológicos de escala sinótica, mais intensos.

Figura 6 – Dispersão padronizada de IE e DE para 2 grupos e a espacialização pelo método K-means.



O grupo 4 (verde claro), identificado por um único ponto, com característica peculiar, valor muito baixo de IE e DE positivo, localizado no centro do Estado, indica que a chuva nesta área é mais constante, porém menos intensa.

Para facilitar a classificação de cada grupo em termos de potencial de recursos hídricos a Tabela 1 fornece um

resumo das características em cada quadrante.

A divisão em oito partes identifica subdivisões nos grupos anteriormente encontrados e identifica melhor as diferenças entre postos vizinhos. Na Figura 8 os grupos com melhor potencial são respectivamente 3 (azul claro), 5 (verde escuro) e 8 (azul escuro), a grande maioria destes pontos estão ligados as margens do

rio Parnaíba, inseridos na região chamada meio norte que é influenciada pela Amazônia. Estes três grupos são os que possuem os valores mais intensos de precipitação e maior frequência de eventos

chuvosos. Pelo gráfico de dispersão, o grupo 5 tem maior frequência de chuva que o grupo 8, que por sua vez tem alguns postos com maior intensidade que o grupo 5.

Figura 7 – Dispersão padronizada de IE e DE para 4 grupos e a espacialização pelo método K-means.

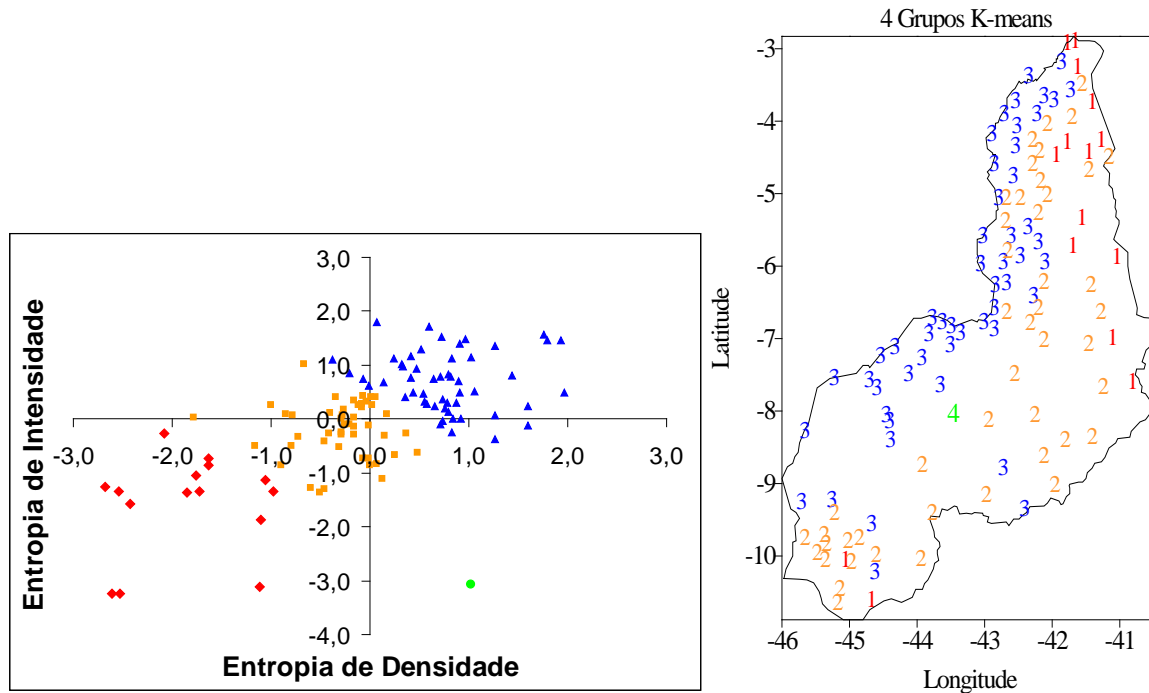


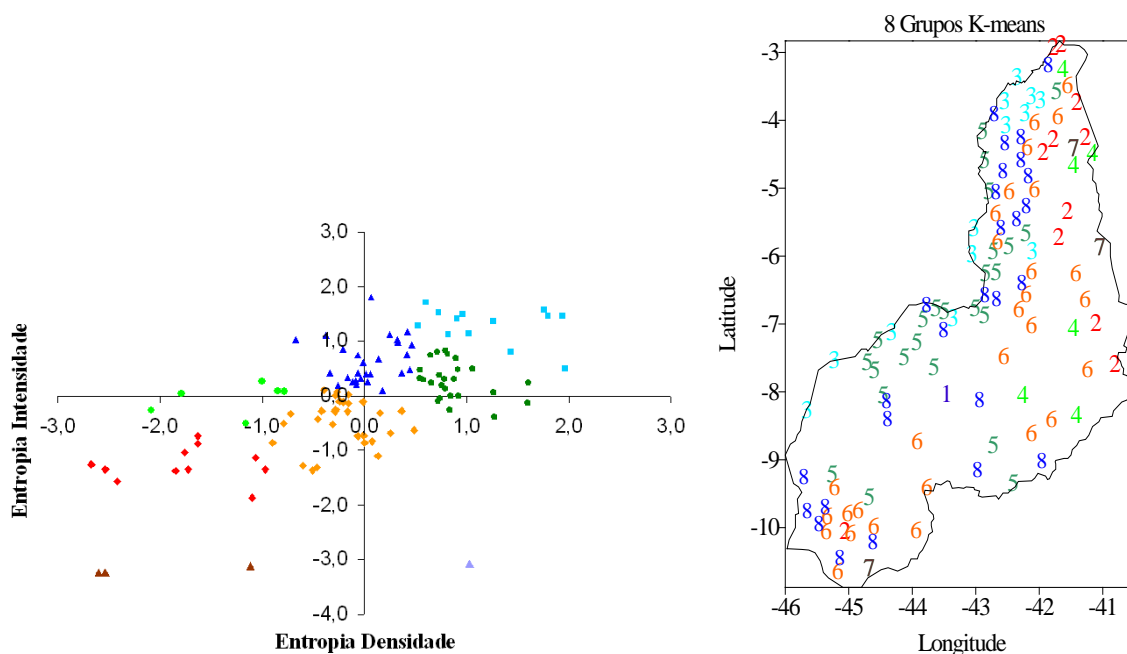
Tabela 1 - Classificação das chuvas com base nos sinais de IE e DE.

Quadrante	Cor	Sinal de IE	Sinal de DE	Classificação das chuvas
Primeiro	Azul	+	+	Zona abundante e perene de chuvas
Segundo	Laranja	+	-	Zona com chuva relativamente abundante, mas concentrada no tempo.
Terceiro	Vermelho	-	-	Zona pobre em recursos hídricos com baixa oferta e alta variabilidade das chuvas
Quarto	Verde Claro	-	+	Zona com chuvas perenes, mas de curta duração.

Os grupos 6 (laranja) e 4 (verde claro) representam a transição para as áreas de baixo potencial hídrico, quando se diminui intensidade e variabilidade. O grupo 1 (roxo) com apenas um ponto no centro-sul continua separados dos demais, sendo o único com chuva perene, mas de curta

duração ou pequena intensidade. Enfim, os grupos 2 (vermelho) e 7 (marrom) são os pontos de pior potencial recurso hídrico, com chuva fraca e concentrada no tempo, estes são os postos de menor período chuvoso e que enfrentam eventos de seca com maior periodicidade.

Figura 8 – Dispersão padronizada de IE e DE para 8 grupos e a espacialização pelo método K-means.



É importante ressaltar que o sul do estado do Piauí dispõe de reservas abundantes de águas subterrâneas. Essa disponibilidade não foi levada em consideração para classificar essas áreas.

CONCLUSÕES

Toda a parte leste do Piauí é visivelmente afetada pela topografia elevada e pela interferência do semiárido nordestino que impedem a advecção de umidade de outras

fontes. Levando todo o leste do Estado a valores menores de IE e DE, significando menor frequência de chuva e baixa intensidade.

A parte oeste do Estado, região de vale, denominada Meio-norte, foi caracterizada como área de maior potencial de recursos hídricos, recebendo umidade da Amazônia e do rio Parnaíba, além da atuação de sistemas sinóticos propulsores de precipitação, tornando essa parte a região do Estado com maior frequência de

eventos chuvosos e intensos, sendo mais propícia a produção agrícola e industrial.

A parte sul do Piauí, pelo gráfico de IE e DE, ficou com valores negativos, mas próximos de zero, ou seja, existe um déficit hídrico possível de se contornar com as medidas de aproveitamento adequado de recursos existentes. De acordo com as divisões dos agrupamentos, essa área possui postos em diferentes grupos, pois a presença de serras atrapalha a homogeneidade. Observando que existe um grande lençol subterrâneo sobre a parte sul, facilitando a mitigação dos efeitos de anos secos dependendo dos projetos aplicados.

A metodologia aplicada teve uma adequação muito boa com as características físicas do Estado, e concordou com trabalhos anteriores ligados ao estudo do clima e recursos hídricos no Piauí, fornecendo informações mais específicas para caracterizar pequenas áreas e facilitar a implementação de novos projetos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido para elaboração desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AL-ZAHRANI, M.; HUSAIN T. An algorithm for designing a precipitation network in the south-western region of Saudi Arabia. *Journal of Hydrology*, pp. 205-216, 1998.

GUEDES, R. V. S.; LIMA, F. J. L.; AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Análise em componentes principais da precipitação pluvial no estado do Piauí e agrupamento pelo método de Ward. *Revista de Geografia, Recife*, pp 218-233, 2010.

GUEDES, R. V. S.; SOUZA, S. S.; SOUSA, F. A. S. Uso da entropia e da análise de agrupamento na avaliação da disponibilidade potencial de recursos hídricos do Nordeste do Brasil. *Revista Ambiente & Água, Taubaté*, v. 5, n. 2, p. 175- 187, 2010.

HARTIGAN, J.A.; WONG, M.A., A K-means clustering algorithm. *ApplIDE Statistics* 28, 100–108, 1979.

KAGAN, A.M.; LINNIK, YU.V.; RAO, C.R.. *Characterization Problems in Mathematical Statistics*. Wiley, New York, pp. 408–410. 1973.

KAWACHI, T.; MARUYAMA, T.; SINGH, V.P.; Rainfall entropy for delineation of water resources zones in Japan. *Journal of Hydrology*, nº 246, pp. 36–44. 2001.

MARUYAMA, T.; KAWACHI, T. Evaluation of rainfall characteristics using entropy. *Journal of Rainwater Catchment systems* 4 (1), 7–10. 1998.

SECKLER, D. The new era of water resources management: from “dry” do “wet” water savings. Colombo: International Irrigation Management Institute (Research Report 1). 16 p. 1996.

SHANNON, C.E. A mathematical theory of communication. The Bell System Technical Journal XXVII, 379–423; 623–656. 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, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG - v.7, n.2, p.269-274, <http://www.agriambi.com.br>, 2003.

SINGH, V.P. The use of entropy in hydrology and water resources. Hydrological Processes, nº 11, 587–626. 1997.

UNESCO, Climate, drought and desertification. Nature and Resources, nº 20, pp. 2–8, 1984.

VOSE, R.S., SCHMOYER, R. L., STEURER, P. M., PETERSON, T. C., HEIM, R., KARL, T. R., EISCHEID, J. K., The Global Historical Climatology Network: long-term monthly temperature, precipitation, sea level pressure, and station pressure.

ORNL/CDIAC-53, NDP-041., Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. Cf. <http://cdiac.esd.ornl.gov/ghcn/ghcn.html>, 1992.