

# Lacunaridade como índice de avaliação da precipitação diária no sertão do Pajeú

Leandro R.R. Lucena<sup>1</sup>

Departamento de Zootecnia, UAST – UFRPE, 78.060-900, Serra Talhada/PE.

**Resumo.** Neste trabalho aplicamos os conceito de lacunaridade nas séries temporais de precipitação diária nas estações climatológicas do sertão do Pajeú no período de 01 de janeiro de 2010 a 31 de dezembro de 2013. Observou-se que os valores de lacunaridade foram menores nas estações de Serra Talhada, Santa Cruz da Baixa Verde, Calumbi e Triunfo (estações com grandes períodos de estiagem), enquanto que os maiores valores de lacunaridade foram representados pelas estações de Igaraci, Ingazeira e Tuparetama (estações com grande variabilidade de precipitação). Através da análise de agrupamento foi possível classificar três grupos de estações meteorológicas. A lacunaridade se mostrou uma alternativa para identificar as regiões geográficas com comportamento temporal característico da precipitação que pode contribuir ao planejamento das atividades agrícolas, desenvolvimento das estratégias para diminuir as consequências de fenômenos climáticos extremos (seca, cheia), planejamento de uso de energia renovável, e assim garantir desenvolvimento sustentável da região.

**Palavras chave:** *Lacunaridade; Sertão do Pajeú; Precipitação.*

## 1. Introdução

Para as citações poderão ser usados os comandos: O clima de uma região é determinado por fatores, denominados controles climáticos, que atuam tanto na escala global como regional (Mollion, 1987). A variabilidade climática pode afetar de forma importante a vida econômica e social da população em geral, na geração de energia, nas atividades agrícolas, na indústria turística e, de forma indireta, em todo setor produtivo (Santos e Manzi, 2011; Santos et al., 2009).

---

<sup>1</sup>leandroricardo\_est@yahoo.com.br

Entre as variáveis climáticas precipitação pluviométrica e temperatura tem grande importância na caracterização das mudanças climáticas de uma região (Almazriui et al., 2012) interferindo nas alternâncias de rendimento das culturas (Silva et al., 2003) (Bannayan, 2011) e produção primária (Ye et al., 2013).

O nordeste brasileiro é uma região cujo clima predominante é semiárido, que apresenta substanciais variações temporais e espaciais da precipitação pluvial, e elevadas temperaturas ao longo do ano (Nóbrega et al., 2014).

O estado de Pernambuco situado entre os paralelos  $7^{\circ}18'17''$  e  $9^{\circ}28'43''$  de latitude sul e os meridianos de  $34^{\circ}48'15''$  e  $41^{\circ}21'22''$  de longitude a oeste, no nordeste brasileiro com condições climáticas diversificadas devido sua posição, vegetação e topografia. Dois tipos climáticos segundo Koppen caracterizam o estado, os climas  $As'$  e  $BSh$ , ou seja, precipitações no outono e inverno em parte do litoral do estado e semi-árido quente no sertão (Temperatura média anual  $> 18^{\circ}C$ ) (Silva et al., 2011), respectivamente.

O sertão do Pajeú corresponde a 16,97% da área do estado de Pernambuco e apresenta um clima semiárido caracterizado pela grande irregularidade de precipitação, os totais anuais de precipitação variam entre 550 a 850 mm. As chuvas no sertão do Pajeú são concentradas entre os meses de fevereiro a maio, período este que compreende 70% de todo total anual de precipitação.

Na dinâmica de processos hidrológicos destaca-se os trabalhos de Martínez et al. (2007) que avaliou o comportamento da precipitação da península Ibérica no período de 1950 a 1990 utilizando análise de lacunaridade, já Lana et al. (2010) utilizou a análise de lacunaridade para avaliar a precipitação de toda Europa no período de 1950–2000, enquanto que Lucena et al. (2014) avaliou o regime de vazões antes e depois construção do sistema Cantareira em São Paulo via análise de lacunaridade.

Nos registros de Temperatura pode-se destacar os trabalhos de Lana et al. (2014) que avaliou o comportamento da temperatura no nordeste da Espanha no período de 1917 a 2005 via análise de lacunaridade, enquanto Lucena e Stosic (2013) avaliou a temperatura do nordeste brasileiro utilizando análise de lacunaridade. Lucena e Campos (2014) avaliou o comportamento da precipitação em estações meteorológicas da bacia do rio Piracicaba, São Paulo.

## 2. Objetivos

- Estudar o comportamento das séries temporais de precipitação diária das estações meteorológicas do sertão do Pajeú utilizando como índice de avaliação à lacunaridade.

## 3. Metodologia

### 3.1. Dados

A base de dados refere-se à série temporal de registros diários de precipitação de 17 estações meteorológicas do sertão do Pajeú no período compreendido de 01/01/2010 a 31/12/2013 e disponibilizados no site da Agência Pernambucana de Águas e Clima, Figura 1.



Figura 1: Distribuição espacial das estações meteorológicas em estudo

### 3.2. Lacunaridade

O conceito de lacunaridade foi originalmente desenvolvido para detecção de padrões de texturas de objetos fractais, mas pode ser generalizado para qualquer padrão espacial, incluindo aqueles com propriedades fractais e multi-fractais e pode ser usado tanto com os dados quantitativos quanto para dados binários e também em dimensões 1D, 2D e 3D (Plotnick et al., 1996).

Vários métodos para o cálculo da lacunaridade foram desenvolvidos com o avanço computacional (Voss, 1986; Dong, 2000; Gefen et al., 1983; Allain e Cloitre, 1991; Lin e Yang, 1986), entre eles destaca-se o algoritmo de deslizamento de caixa *gliding box* de Allain e Cloitre (1991).

Este método é amplamente utilizado nos estudos de medicina, em análise de padrões de retina humana (Cheng e Huang, 2003) (Lucena e Stosic, 2014), radiografias dentárias (Yasar e Akqunlu, 2005) e imagens de tomografias computadorizadas de ossos trabeculares (Dougherty e Henebry, 2001).

Na ecologia destacam-se os trabalhos de Plotnick et al. (1993) que usou a lacunaridade para desenvolver índice de textura de florestas, enquanto Malhi e Cuesta (2008) avaliaram imagens de IKONOS nas florestas tropicais da Amazônia. Na geologia pode-se destacar o estudo de (Roy et al., 2010).

Du (2002) criou uma nova técnica de estimação de lacunaridade aplicando na segmentação de imagens SAR. Na área de tecnologia de alimentos Camilo et al. (2010) detectou padrões na cristalização da cana de açúcar utilizando imagens fractais com auxílio da análise de lacunaridade 2D. Na área de planejamento urbano Myint e Lam (2005) conseguiram distinguir padrões urbanos em imagens de textura na cidade de Oklahoma utilizando análise de lacunaridade 2D.

Análise de lacunaridade também é bastante explorada na climatologia como: o estudo que caracterizou o regime pluviométrico diário da península Ibérica no período de 1950 a 1990 (Martinez et al., 2007). A caracterização do comportamento complexo do regime pluviométrico da Europa no período de 1950 a 2000 (Lana et al., 2010). Avaliação da dinâmica do índice de oscilação do atlântico norte mensal via análise de lacunaridade (Martinez et al., 2010). Em estudos recentes a análise de lacunaridade foi aplicada para estudar o comportamento da precipitação (Lucena e Campos, 2014), vazão (Lucena et al., 2014) da bacia do rio Piracicaba e Temperatura do nordeste brasileiro (Lucena e Stosic, 2013).

### 3.2.1 Procedimentos para o cálculo da lacunaridade 1D:

- **Passo 1:** Uma caixa de tamanho  $r$  é colocada na origem do banco de dados e o número  $s$  de sítios ocupados (com valores acima de um limiar escolhido) é contado.
- **Passo 2:** A caixa é movida ao longo de todo o conjunto de observações, e sua massa (número dos sítios ocupados) é calculada.

- **Passo 3:** A distribuição de probabilidade de massa da caixa e dada pela equação (3.1).

$$P(s, r) = \frac{n(s, r)}{N(r)} \quad (3.1)$$

onde,  $n(s, r)$  é o número de caixas de tamanho  $r$  com massa  $s$  e  $N(r) = N - r + 1$  é o número total de caixas de tamanho  $r$  ( $N$  é o total de observações).

- **Passo 4:** A lacunaridade para o tamanho de caixa  $r$  é definida pela equação (3.2).

$$L(r) = \frac{M_2}{M_1^2} \quad (3.2)$$

onde,  $M_1 = \sum_{s=1}^r s * P(s, r)$  e  $M_2 = \sum_{s=1}^r s^2 P(s, r)$  são o primeiro e o segundo momento da distribuição  $P(s, r)$ , respectivamente.

- **Passo 5:** A lacunaridade diminui com tamanho de caixa como uma lei de potência *cf.* eq. (3.3).

$$L(r) = \alpha r^\beta \quad (3.3)$$

onde, o expoente  $\beta < 0$  pode ser estimado como coeficiente angular de reta  $\log L(r)$  versus  $\log(r)$  (Martinez et al., 2007).

## 4. Resultados

Observa-se na Figura 2 que quanto maior o limiar de avaliação maior é o valor da lacunaridade independente da estação avaliada. Verifica-se que independente do limiar de precipitação avaliado e para tempo de avaliação dois dias, os menores valores de lacunaridade refere-se às estações de Serra Talhada, Santa Cruz da Baixa Verde, Calumbi e Triunfo, indicando um comportamento mais uniforme do regime pluviométrico (estações com maiores períodos de estiagem), enquanto que os maiores valores de lacunaridade refere-se às estações de Igaraci, Inzageira, Tuparetama e São José do Egito, indicando uma maior variabilidade no seu regime pluviométrico (menor período de seca).

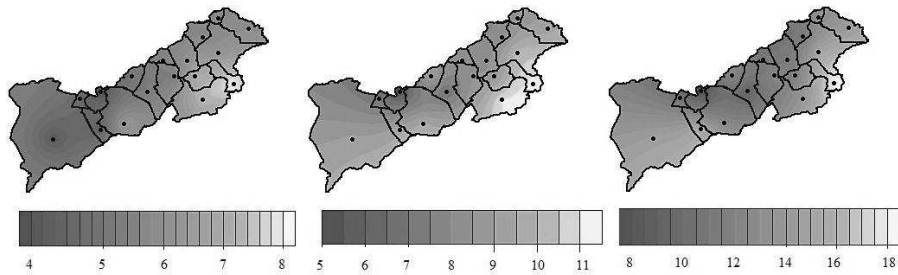


Figura 2: Lacunaridade empírica utilizando limiares de 0, 5 e 10 mm de precipitação para tempo de dois dias de avaliação.

Quando utilizado um tempo de segmento de um mês, os maiores valores de lacunaridade são representado pelas estações de Flores, Igaraci, Ingazeira, Tuparetama e Santa Terezinha enquanto que os menores valores foram representados pelas estações de Serra Talhada, Santa Cruz da Baixa Verde, Calumbi e Triunfo ao limiar de 0 mm de precipitação, Figura 3. Utilizando os limiares de 5 e 10 mm de precipitação observa-se que as estações que apresentaram comportamento mais uniforme do seu regime pluviométrico foram: Serra Talhada, Calumbi, Santa Cruz da Baixa Verde, Triunfo Carnaíba e Tabira, já as estações com maior variabilidade climática foram: Santa Terezinha, São José do Egito, Tuparetama, Brejinho e Itapetim, Figura 3.

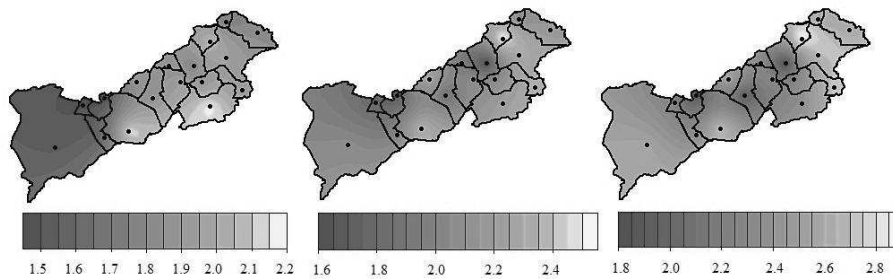


Figura 3: Lacunaridade empírica utilizando limiares de 0, 5 e 10 mm de precipitação para tempo de um mês de avaliação.

Ao limiar de 0, 5 e 10 mm de precipitação verifica-se que as menores inclinações do expoente  $\beta$  de lacunaridade são representados pelas estações de Serra Talhada, Santa Cruz da Baixa Verde, Calumbi, Triunfo, indicando

um comportamento mais uniforme no seu regime pluviométrico (estações onde apresentam longos períodos de estiagem), enquanto que as estações de Iguaraci, Ingazeira, Tuparetama e São José do Egito apresentaram maiores inclinações do expoente  $\beta$ , indicando um comportamento mais variável da seca, Figura 4.

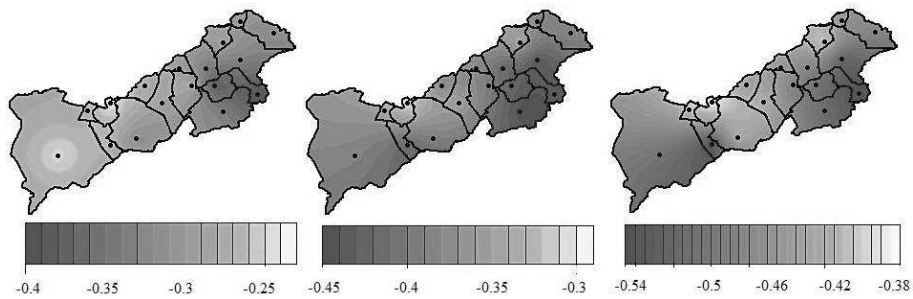


Figura 4: Lacunaridade empírica utilizando limiares de 0, 5 e 10 mm de precipitação para tempo de um mês de avaliação.

Através da análise de agrupamento pelo método de Ward foi possível classificar três grupos de estações meteorológicas no sertão do Pajeú, um grupo formado pelas estações com longos períodos de seca (13-Serra Talhada; 4- Calumbi, 10-Santa Cruz da Baixa Verde, 15-Triunfo), o segundo formado pelas estações com grande variabilidade de chuvas (6-Iguaraci, 7-Ingazeira, 17-Tuparetama) e um terceiro grupo formado pelas estações com pequena escassez de chuvas, Figura 5.

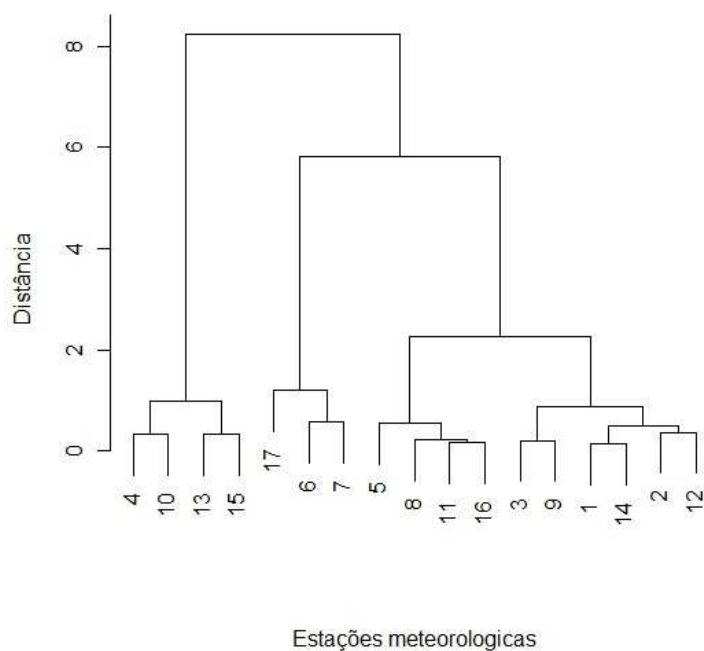


Figura 5: Agrupamento de Ward das estações meteorológicas do sertão do Pajeú.

## 5. Conclusões

Neste artigo estudamos a dinâmica temporal da precipitação no sertão do Pajeú utilizando o método de lacunaridade. Este método se mostrou bastante eficaz para avaliar as propriedades das séries temporais de precipitação pluviométrica. Os valores grandes de lacunaridade observados indicaram maior heterogeneidade na distribuição da duração de secas e conseqüente pouca quantidade de chuva, enquanto que valores pequenos observados indicam maior concentração de precipitação com uma distribuição mais uniforme.

Utilizando os valores de lacunaridade e o expoente de lacunaridade foi possível classificar três padrões de precipitação no sertão do Pajeú, um formado pelas estações com longos períodos de seca (13-Serra Talhada; 4- Calumbi, 10-Santa Cruz da Baixa Verde, 15-Triunfo), o segundo formado pelas estações com grande variabilidade de chuvas (6-Iguaraci, 7-Ingazeira, 17-Tuparetama) e o terceiro formado pelas demais estações do sertão. Estes resultados forne-



cem novas informações sobre a fragmentação dos períodos chuvosos no sertão do Pajeú, que podem ser usados em planejamento das atividades agrícolas e desenvolvimento de estratégias para diminuir as consequências de fenômenos climáticos extremos (seca, cheia) e assim contribuir ao melhoramento da qualidade de vida da população e desenvolvimento sustentável da região.

## Referências

- Allain, C. e Cloitre, M. (1991). Characterizing the lacunarity of random and deterministic fractal sets. *Physical Review A*, 44:3552–3558.
- Almazriui, M., Islam, M. N., Jones, P. D., Athar, H., e Rahman, M. A. (2012). Recent climate change in the arabian peninsula: Seasonal rainfall and temperature climatology of saudi arabia for 1979-2009. *Atmospheric Research*, 111:29–45.
- Bannayan, M. (2011). Effects of precipitation and temperature on crop production variability in northeast iran. *International Journal of Biometeorology*, 55:387–401.
- Camilo, O. V., Reynoso, E. B., Rodriñez, E., e Ramirez, J. A. (2010). Characterization of cane sugar crystallization using image fractal analysis. *Journal of Food Engineering*, 100:77–84.
- Cheng, S. C. e Huang, Y. M. (2003). A novel approach to diagnose diabetes based on the fractal characteristics of retinal images. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 7:163–170.
- Dong, P. (2000). Lacunarity for spatial heterogeneity measurement in gis. *Geographic Information Sciences*, 6:20–26.
- Dougherty, G. e Henebry, G. M. (2001). Fractal signature and lacunarity in the measurement of the texture of trabecular bone in clinical ct images. *Medical Engineering & Physics*, 23:369–380.
- Du, G. (2002). A novel lacunarity estimation method applied to sar image segmentation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40:2687–2691.

- Gefen, Y., Meir, Y., Mandelbrot, B. B., e Aharony, A. (1983). Geometric implementation of hypercubic lattices with noninteger dimensionality by use of low lacunarity fractal lattices. *Physical Review Letters*, 50:145–188.
- Lana, X., Burgueno, A., Serra, C., e Martinez, M. D. (2014). Fractal structure and predictive strategy of the daily extreme temperature residuals at Fabra Observatory (NE Spain, years 1917–2005). *Theoretical and Applied Climatology*, 118:1–17.
- Lana, X., Martinez, M. D., Serra, C., e Burgueno, A. (2010). Complex behaviour and predictability of the european dry spell regimes. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 17:499–512.
- Lin, B. e Yang, Z. R. (1986). A suggested lacunarity expression for sierpinski carpets. *Journal Physics A: Mathematical and General*, 19:L49–L52.
- Lucena, L. R. R. e Campos, A. C. P. (2014). Análise de lacunaridade da precipitação de bacias hidrográficas do estado de são paulo. *Biomatemática*, 24:1–8.
- Lucena, L. R. R. e Stosic, T. (2013). Temperatura do nordeste brasileiro via análise de lacunaridade. *Sigmae*, 2:76–80.
- Lucena, L. R. R. e Stosic, T. (2014). Utilização de lacunaridade para detecção de padrões de imagens de retinas humanas. *Revista de Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto*, 3:789–793.
- Lucena, L. R. R., Stosic, T., e Filho, M. C. (2014). Análise de lacunaridade de série temporal da vazão dos rios atibaia e jaguari. *Revista Brasileira de Biometria*, 32:609–617.
- Malhi, Y. e Cuesta, R. M. R. (2008). Analysis of lacunarity and scales of spatial in homogeneity of ikonos images of amazonian tropical forest canopies. *Remote Sensing of Environment*, 112:2074–2087.
- Martinez, M. D., Lana, X., no, A. B., e Serra, C. (2007). Lacunarity, predictability and predictive instability of the daily pluviometric regime in the iberian peninsula. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 14:109–121.
- Martinez, M. D., Lana, X., no, A. B., e Serra, C. (2010). Predictability of the monthly north atlantic oscillation index based on fractal analysis and dynamics system theory. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 17:93–101.

- Mollion, L. C. B. (1987). Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2:107–117.
- Myint, S. W. e Lam, N. (2005). A study of lacunarity-based texture analysis approaches to improve urban image classification. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29:501–523.
- Nóbrega, J. N., Santos, C. A. C., Gomes, O. M., Bezerra, B. G., e Brito, J. I. B. (2014). Eventos extremos de precipitação nas mesorregiões da paraíba e suas relações com a tsm dos oceanos tropicais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29:197–208.
- Plotnick, R. E., Gardner, R. H., Hargrove, W. W., Prestergaard, K., e Permuter, M. (1996). Lacunarity analysis: A general technique for the analysis of spatial patterns. *Physical Review E*, 53:5461–5468.
- Plotnick, R. E., Gardner, R. H., e O'Neill, R. V. (1993). Lacunarity indices as measures of landscape texture. *Landscape Ecology*, 8:201–211.
- Roy, A., Perfect, E., Dunne, W. M., Odling, N., e Kim, J. W. (2010). lacunarity analysis of fracture network: Evidence of scale depended clustering. *Journal of Structural Geology*, 32:1444–1449.
- Santos, C. A. e Manzi, A. O. (2011). Eventos extremos de precipitação no estado do ceará e suas relações com a temperatura dos oceanos tropicais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26:157–165.
- Santos, C. A. C., Brito, J. I. B., RAO, T. V. R., e Menezes, H. E. A. (2009). Tendência dos índices de precipitação no estado do ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24:39–47.
- Silva, A. O., A.Moura, G. B., Silva, E. F. F., Lopes, F. M. O., e Silva, A. P. N. (2011). Análise espaço-temporal da evapotranspiração de referência sob diferentes regimes de precipitação em pernambuco. *Revista Caatinga*, 24:135–142.
- Silva, J. W., aes, E. C. G., e Tavares, M. (2003). Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de uberaba-mg. *Ciências e Agrotecnologia*, 27:665–674.
- Voss, R. (1986). *Random Fractals: characterization and measurement, Scaling Phenomena in Disordered Systems*. Plenum, New York.

- Yasar, F. e Akqunlu, F. (2005). Fractal dimension and lacunarity of dental radiographs. *Dentomaxillofacial Radiology*, 34:261–267.
- Ye, J. S., Reynolds, J. F., Sun, G. J., e Li, F. M. (2013). Impacts of increased variability in precipitation and air temperature on net primary productivity of the tibetan plateau: a modeling analysis. *Climatic Change*, 119:321–332.