

08 a 11 de Outubro de 2018  
Instituto Federal Fluminense  
Búzios - RJ

## ANÁLISE DE TENDÊNCIA PARA O VOLUME DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS NA CAPITAL MINEIRA USANDO ESTIMATIVA EXPOENTE DE HURST.

Giselle Couto Falcao<sup>1</sup> – [giselle\\_falcao@hotmail.com](mailto:giselle_falcao@hotmail.com)

Edgar Lacerda Aguiar<sup>1</sup> – [edgarlaguiar@gmail.com](mailto:edgarlaguiar@gmail.com)

<sup>1</sup> Programa de pós graduação em Modelagem Matemática Computacional, CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

**Resumo.** A previsibilidade das inundações tem sido um desafio recorrente nas últimas décadas para a capital de Minas de Gerais, assim como em diversas outras cidades do Brasil. A cada primavera/verão determinadas regiões do país sofrem com constantes inundações. Este fenômeno ocorre em resposta ao grande volume de precipitações em curto período de tempo. Este trabalho buscou analisar as previsões do volume máximo de precipitações das regiões de Belo Horizonte, as análises dos dados foram realizadas utilizando as análises multifractais de séries temporais com sazonalidade, reescaladas. Interessados em encontrar uma linearidade no coeficiente de Hurst (autocorrelação), durante o período sazonal. Tendo como modelo de apresentação estrutural a simulação dos dados em sistemas complexos de previsibilidade e instabilidade, o qual terá como base, dados históricos mensais dos volumes das precipitações dos meses de janeiro e dezembro coletados pela estação 83587 da região de Belo Horizonte. Através das análises foram identificados dados que corroboram com a hipótese que o volume máximo das precipitações históricas, vem alcançando um aumento linear ao longo desses 49 anos analisados neste trabalho.

**Palavras Chave:** Análise fractal, Análise tendência, Autocorrelação, Coeficiente Hurst, Precipitações

### 1. INTRODUÇÃO

Por meio da análise de sazonalidade relacionada ao volume das precipitações vem sendo amplamente discutido, entre estes assuntos existe corrente discussão quanto ao comportamento cíclico de períodos de grande volume de precipitação. Estas observações podem ser evidenciadas de forma eficaz, por meio testes não paramétricos como Kruskal-Wallis (YU, 2006).

O dimensionamento e comportamento fractal de campos geofísicos, são usados para modelar diversos fenômenos naturais, tais como o volume da precipitação, temperatura, níveis do mar, ventos, entre outros. Este dimensionamento nos permite o uso de técnicas matemáticas que descrevem o modelo em ajustes de transformadas Fourier (OLIVEIRA, 2007).

Os sistemas complexos são compostos por muitas variáveis, estas comunicam entre si e também com o ambiente. A interação entre essas variáveis resulta em um comportamento de alta ordem, caracterizando a persistência de longo prazo ou autocorrelação em séries temporais (SAYAMA, 2015).

A interação entre essas variáveis resulta em um comportamento de alta ordem. Sendo assim as precipitações podem ser identificadas como fenômeno complexo no qual pode-se verificar autocorrelação em seu comportamento a longo prazo (BRAGA, 2015).

Usando técnica de escala redimensionada, do desvio padrão de séries temporais podemos detectar sinais de comportamento complexo com persistência de longo prazo ou tendências não estacionárias (GNEDENKO, 1968), (SPROTT, 2003).

Além disso, a análise multifractal é apropriada para estudar propriedades de escala de campos geofísicos em séries temporais reescaladas por sua sazonalidade, podendo assim verificar em toda sua vasta gama de momentos seriados, uma análise de forma abrangente em pode ser caracterizado as flutuações de uma série temporal por meio do uso do coeficiente de Hurst, também mencionado em outras trabalhos como sendo o método mais eficaz para análise do expoente do Hurst (TAN, 2017), (FARIAS, 2015), (FAVARETTO, 2004), (VITOI, 2016)

Utilizando os estudos de escalonamento focado em localizar o desvio padrão, média e variância das flutuações em séries históricas reescaladas do volume de precipitações, em uma análise multifractal.

Este estudo visa reconhecer, a presença de persistência de longo prazo, apontadas pelo expoente de Hurst que pode levar a detecções de tendências em um sinal ou não, por meio de análises de tendência em testes não paramétricos que buscam avaliar se a distribuição da probabilidade de ocorrência tende a uma distribuição normal, além de poder ser utilizado um polinômio interpolador para auxiliar estimativa de período de grande volume de precipitação. (THOM, 1966), (BACK, 2001)

Este trabalho foi realizado utilizando o refinamento dos dados de volume das precipitações, de forma estatísticas obtidos por meio das análises de longas séries de dados coletados mensalmente, dos registros históricos da precipitação do Instituto Nacional de Meteorologia<sup>1</sup>

## 2. METODOLOGIA

Foi utilizado longas séries históricas dos volumes de precipitação mensais em Belo Horizonte, coletados na estação 83587, esta estação é composta de vários sensores isolados que registram continuamente os parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc), que são lidos e anotados por um observador a cada intervalo e este os envia a um centro coletor por um meio de comunicação qualquer.

Foi aplicado teste não paramétrico Kruskal-Wallis (KW) para indicar comportamento sazonal da série, bem como a variabilidade ascendente no volume de precipitações.

Para tais análises foram selecionados o período de verão, especificamente os meses de dezembro e janeiro dos últimos 49 anos. Neste trabalho foi utilizado para cálculo do expoente de Hurst (H) a análise de Reescalamento (R/S), considerando a dimensão fractal apresentadas pelo volume de precipitações ao longo do tempo, estas análises foram realizadas

---

<sup>1</sup> {[www.inmet.gov.br/](http://www.inmet.gov.br/)} (INEMET), colhidos durante 49 anos na estação 83587.

por meio computacional, com a utilização do Matlab. Em que os dados foram tratados, minerados com ferramentas matemáticas estatísticas.

Interessado em verificar tendência das precipitações foi utilizado o Run test, para indicar a previsibilidade de ocorrer altos volumes de precipitação ao longo do tempo através do uso de um polinômio interpolador.

### 3. RESULTADOS

A partir dos cálculos realizados e gráficos construídos, do reescalonamento da série o expoente de Hurst ( $H > 0,58$ ) o que indica a persistência dos altos volumes das precipitações após períodos extensos de baixo volume de precipitação em Belo Horizonte. Em sequência foi observado por meio do teste KW em que o valor de  $p = 0,484358141$  o qual indica que essa persistência é sazonal, ou seja, obedecem uma periodicidade de aproximadamente 8 anos entre períodos de alto volume e baixo volume de precipitações, ainda aplicando o teste KW para verificação das médias dos períodos, constatou-se que as médias dos volumes de precipitações ocorridas na cidade em cada período são diferentes. Após esta observação foi realizada uma análise de tendência nos volumes de precipitação de cada período sazonal, onde foi encontrado a existência de um aumento. Este aumento pode ser identificado de modo temporal para as precipitações de alto volume ocorridas em Belo Horizonte por meio de análise de tendências que o considerando os dados históricos coletados.

Verificado na Figura 1, observa-se a sazonalidade do volume das precipitações em períodos longos, indicando os volumes máximos e mínimos nos meses de dezembro e janeiro de 1967 a 2016.

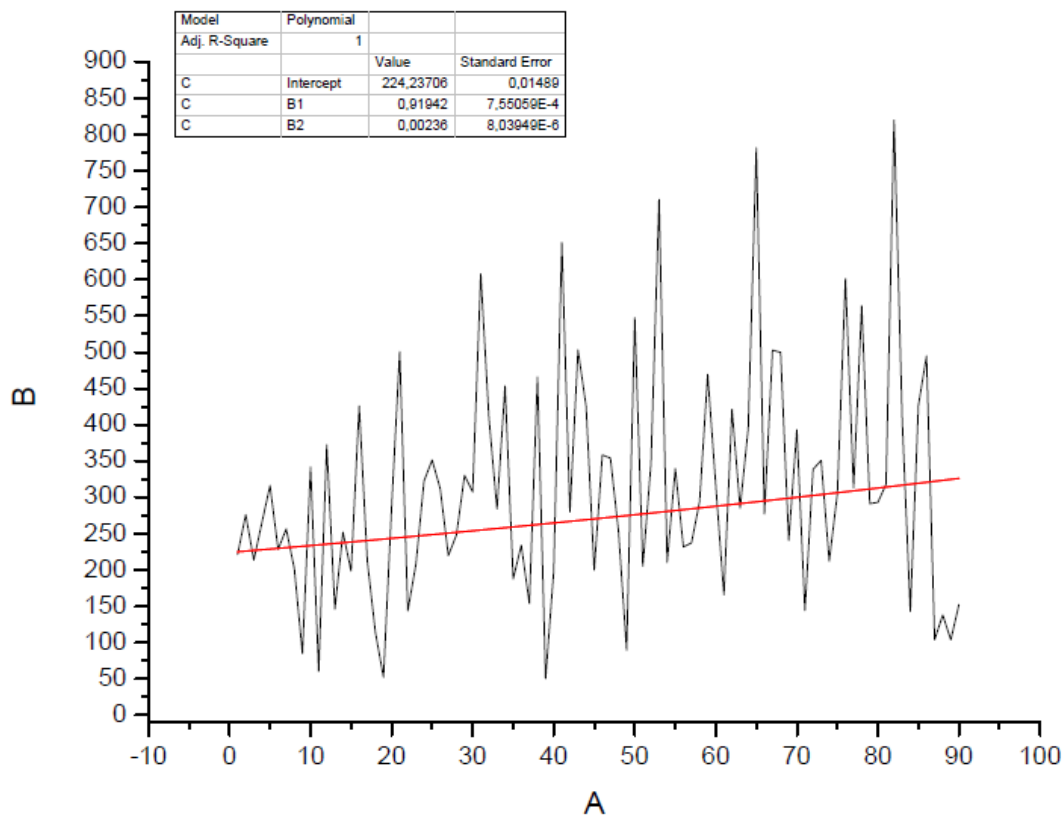


Figura 1- Volume das Precipitações

Após as análises dos dados verificou-se que o expoente de Hurst se encontra dentro das indicações de persistência, como é possível verificar na Figura 2.



Figura 2 - Variabilidade do Expoente de Hurst

Após esta verificação foi aplicada a análise de tendências considerando a sazonalidade da série temporal, e assim chegou-se ao gráfico representado abaixo pela Figura 3. Que aponta tendência ascendente para os grandes volumes de precipitações na Capital Mineira.

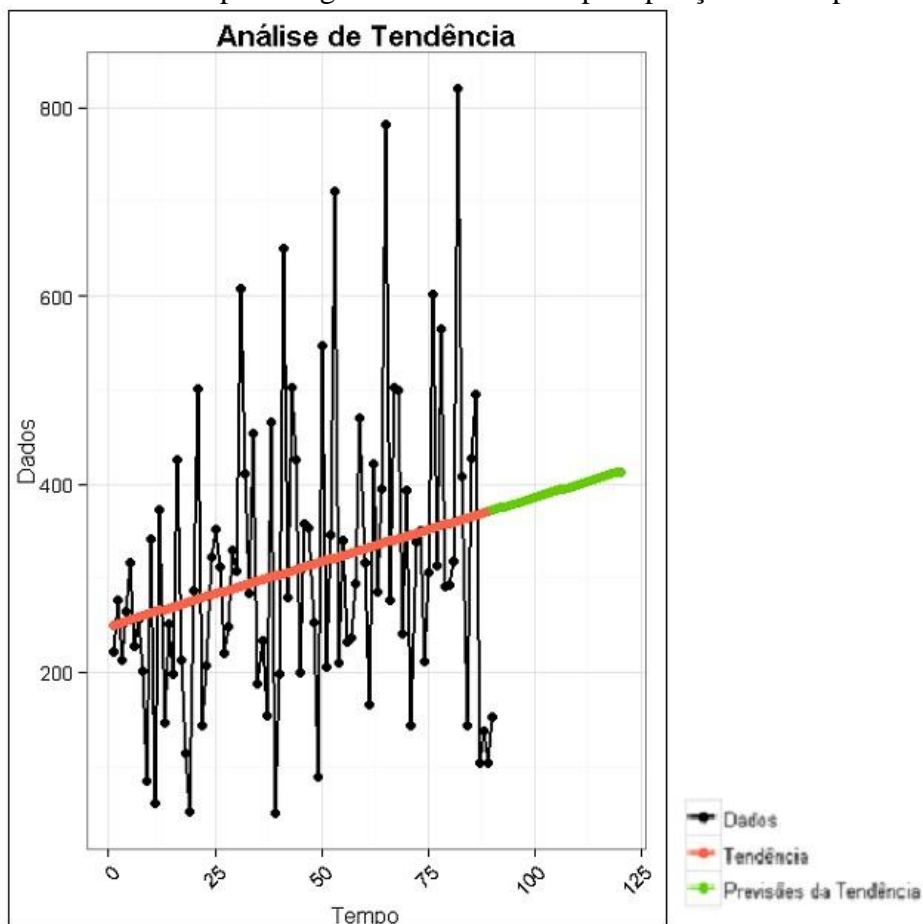


Figura 3- Análise de Tendência Run Test

Após verificado o Run Test, acima descrito, podemos observar a tendência, por meio do uso de um polinômio interpolador que assegura as datas e o volume de grandes precipitações apresentado na equação (1) a seguir:

$$0,03374x^3 - 203,56299x^2 + 409367,8231346x - 274415617,52312603 \quad (1)$$

Utilizando os pontos máximos obtidos na série temporal, foi possível interpolar novos volumes de assegurados no teste WK em conjunto com expoente de Hurst, a periodicidade de 8 anos para grande volume de precipitações com uso da equação (2) que desenvolve a sazonalidade por meio do reescalonamento da série.

$$z = \frac{\frac{(R/S)}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k ni \left( R_i - \frac{N+1}{2} \right)^2}{1 - \frac{\sum_{j=1}^a t_j^3 - t_j}{N^3 - N}} \quad (2)$$

Os dados foram validados com o uso da equação (2) e do polinômio (1), que apresentou a precipitação máxima 2-8% próximas dos valores reais como pode ser observado na tabela 1.

*Tabela 1 - Previsão Precipitação Máxima*

Ano	Vol. Max Real	Vol. Max. Previsto
2003	781,52	781,6911
2011	820,94	819,9999
2019	-	858,48124
2028	-	1030,66157

Deste modo após realizados os testes exemplificados acima, pode-se observar um por meio da análise de tendência, a elaboração da tabela 1, que apresenta uma estimativa, do volume máximo das precipitações para os intervalos dos próximos 20 anos.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e das discussões realizadas, pode-se identificar uma sazonalidade no volume das precipitações ocorridas nos meses de dezembro e janeiro nos últimos 49 anos (1967-2016). Esta sazonalidade conferida com (95%) de confiança, no qual foi observado um período de 8 anos, entre os volumes máximo das precipitações em Belo Horizonte de acordo com estação 83587. Através das análises de tendências citadas na Tabela 1, foi possível desenvolver previsões com o volume máximo das precipitações para os três próximos intervalos de oito anos.

Deste modo, considerando a confiabilidade matemática das análises bem como a aplicação das tendências das futuras precipitações, este modelo pode vir a auxiliar em diversas áreas como a construção civil, hidráulica entre outras. Essas métricas são muito importantes para os governantes atuais e futuros se preparem e investirem em infraestrutura com objetivo de minimizar os danos causados pelas enchentes ocorridas em Belo Horizonte.

#### REFERÊNCIAS

- Back, Álvaro José. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. Pesquisa agropecuária brasileira, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.
- Braga, A. C. et al. Sobre a Detecção de Autocorrelações em Séries Temporais: Uma Comparação Objetiva entre Análise de Flutuações, Transformações Wavelet e Análise Entrópica. v. 3, n. Iii, p. 1–7, 2015.
- Conover, W.J. Practical Nonparametric Statistics. New York, Wiley, 1980
- Farias, A. et al. Estimativa do Expoente De Hurst em Dados Sísmicos Utilizando Análise Fractal. I congresso Nacional de Engenharia de Petroleo, Gas Natural e Biocombustíveis. Anais 2015 Disponível em: %[http://www.editorarealize.com.br/revistas/conepetro/trabalhos/Modalidade\\_4datahora\\_02\\_04\\_2015\\_16\\_40\\_21\\_idinscrito\\_1870\\_efbeccfacfcf0f910be1d00cb4beb573.pdf](http://www.editorarealize.com.br/revistas/conepetro/trabalhos/Modalidade_4datahora_02_04_2015_16_40_21_idinscrito_1870_efbeccfacfcf0f910be1d00cb4beb573.pdf)%
- Favaretto, A. B. Estimativa do Expoente de Hurst de Série Temporais de Chuvas do Estado de São Paulo Usando as transformadas de Fourier, Wavelets e Análise R/S. [s.l.] Universidade Estadual Paulista, 2004.
- Gnedenko, B.V, AND A.N. kolmogorov Limit Distributions for Sums of Independent Random Variables, Addison-Wesley: Reading, 1968.
- Oliveira, H. M. DE. Análise de Fourier e Wavelets: sinais estacionário e não estacionários. Recife-PE: 2007, 2007.
- Sayama, Hiroki. Introduction to the modeling and analysis of complex systems. Open SUNY Textbooks, 2015.
- Sprott, J.C. Chaos and Time-Series Analysis, Oxford University Press: Oxford, 2003.
- Tan, X.; GAN, T. Y. Multifractality of Canadian precipitation and streamflow. International Journal of Climatology, v. 37, p. 1221–1236, 2017.
- Thom, H. C. S. Some methods of climatological analysis. Genève : World Meteorological Organization, 1966. 54 p. (WMO Technical Note, 81).
- Vitói, D. A. DE O. COEFICIENTE DE HURST NA COMPARAÇÃO DE SÉRIES DE NÍVEL DO MAR. [71] Universidade Federal de Lavras, 2016
- Yu, Pao-Shan, Tao-Chang Yang, and Chun-Chao Kuo. "Evaluating long-term trends in annual and seasonal precipitation in Taiwan." Water Resources Management 20.6 (2006): 1007-1023.

## **TREND ANALYSIS FOR THE VOLUME OF MAXIMUM PRECIPITATIONS IN THE MINEIRA CAPITAL USING HURST EXPONENT ESTIMATE**

**ABSTRACT:** The predictability of floods has been a recurring challenge in recent decades in the city of Belo Horizonte, the capital of Minas Gerais, and several other cities in Brazil. Each spring / summer certain regions of the country suffer from constant flooding. This phenomenon occurs in response to increased intense precipitation. This analysis sought to analyze the forecasts of the maximum precipitation volume of the regions of Belo Horizonte, the observations of the data were made using multifractal analyzes of non - stationary time series, with seasonality. The series were rescaled to refine the sample, looking for a linearity in the Hurst coefficient (autocorrelation), during the seasonal period. Using as a structural presentation model the simulation of the data in complex predictability and instability systems, which will be based on monthly historical data of the precipitation volumes of the months of January and December, collected by station 83587 in the Belo Horizonte region. Through the analysis, we have identified data that corroborates with the hypothesis that the maximum volume of historical precipitations, has reached a linear increase during the 49 years analyzed in this work.

**KEYWORDS:** Fractal analysis, Trend analysis, Autocorrelation, Hurst coefficient, Precipitations.