

Correlações de longo alcance em séries temporais de velocidade do vento no Nordeste

Anderson José de Araujo^{1†}, Tatijana Stosic², Borko Stosic², Cláudia Helena Dezotti²

¹ DAP/Universidade Federal de Alagoas - CAMPUS ARAPIRACA (DAP - UFAL).

² Departamento de Estatística e Informática da Universidade Federal Rural de Pernambuco (DEINFO - UFRPE).

Resumo: O vento é um dos elementos mais complexos do clima, e contribui significativamente em vários fenômenos como erosão do solo, dispersão de poluentes, transporte de pólen e sementes, propagação de doenças e geração da energia eólica. Para descrever e quantificar a dinâmica dos fenômenos climáticos são utilizadas novas técnicas de modelagem, incluindo a análise não linear, dinâmica fractal e multifractal. Um dos aspectos importantes para uma melhor veracidade destes modelos é a existência das correlações de longo alcance, que foram observadas ao longo da última década em séries temporais climáticas. Esse trabalho tem como objetivo analisar as correlações de longo alcance das séries temporais de velocidade do vento na região do Nordeste, durante o período de 2008 a 2011, utilizando o método Detrended Fluctuation Analysis - DFA.

Palavras-chave: velocidade do vento, série temporal, correlações de longo alcance, detrended fluctuation analysis.

Abstract: Wind is one of the most complex elements of the climate, and contributes significantly to various phenomena such as soil erosion, pollutant dispersion, transport of pollen and seeds, spread of disease and the generation of wind energy. To describe and quantify the dynamics of weather phenomena used are new modeling techniques, including nonlinear analysis, fractal and multifractal dynamics. An important truth for better aspects of these models is the existence of long-range correlations that have been observed over the last decade in climatic time series. This paper aims to analyze the long-range correlations of the time series of wind speed in the Northeast region during the period 2008-2011, using the Detrended Fluctuation Analysis method - DFA.

Keywords: wind speed, time series, long-range correlations, detrended fluctuation analysis.

Introdução

Nas últimas décadas, grandes volumes de dados climáticos vêm sendo coletados e armazenados por diversas instituições meteorológicas. O vento é um dos elementos mais complexos do clima, e contribui significativamente em vários fenômenos como erosão do solo, dispersão de poluentes, transporte de pólen e sementes, propagação de doenças e geração da energia eólica.

Para descrever e quantificar a dinâmica dos fenômenos climáticos são utilizadas novas técnicas de modelagem, incluindo a análise não linear, dinâmica fractal e multifractal. Um dos aspectos importantes para uma melhor veracidade destes modelos é a existência das correlações de longo alcance, que foram observadas ao longo da última década em séries temporais climáticas (ECHNER, J. F, et. al., 2003).

Esse trabalho tem como objetivo analisar as correlações de longo alcance das séries temporais de velocidade do vento na região do Nordeste, durante o período de 2008 a 2011, utilizando o método Detrended Fluctuation Analysis - DFA (Análise de Flutuação sem Tendência).

[†] Autor correspondente: andersonjastc@gmail.com.

Material e métodos

Foram utilizados neste trabalho dados horários de velocidade do vento (m/s), obtidos da base de dados do INMET, disponibilizados gratuitamente no site (<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>). Estas séries temporais foram coletadas no período de janeiro de 2008 a fevereiro de 2011, bem como as latitudes, longitudes, altitudes e maritimidade de 126 estações meteorológicas do Nordeste.

Análise de Flutuações sem Tendências

O método Análise de Flutuações sem Tendência é aplicado para quantificar correlações de longo alcance em séries temporais não estacionárias. Inicialmente, foi introduzido para estudar sequências gênicas de DNA (PENG et al., 1994) e vem sendo aplicado na economia (COSTA, R. L.; VASCONCELOS, G. L., 2003) e climatologia (KAVASSERI; NAGARAJAN, 2005). O método baseia-se na análise de flutuações dos dados após retirar a tendência da série temporal integrada. O procedimento para obter a série integrada é descrito a seguir:

$$Y(k) = \sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y}) \quad (1)$$

em que:

$Y(k)$ é a série integrada, y_i é a série original e \bar{y} é a média da série original. Em seguida, a série integrada $Y(k)$ é dividida em intervalos não sobrepostos de tamanhos s , e em cada intervalo é retirada a tendência local por meio do ajuste polinomial, representado por $Y_s(k)$. Para quantificar as flutuações no intervalo de tamanho de s , calcula-se a função de flutuação a seguir:

$$F(s) = \left[\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (Y(k) - Y_s(k))^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

O procedimento é repetido por meio de um processo iterativo para determinar a relação da função de flutuação $F(s)$ e o tamanho do intervalo s . Para processos invariantes na escala (auto-similar), $F(s)$ aumenta com s através da seguinte lei de potência:

$$F(s) \sim s^\alpha \quad (3)$$

em que α é o expoente *DFA* ou expoente de escala. O expoente *DFA* pode ser calculado pelo coeficiente da regressão linear do $\log F(s)$ versus $\log(s)$. O parâmetro α da série integrada é relacionado com a função de correlação da série original da seguinte forma: Para $\alpha = 0,5$ a série é não correlacionada; para $0,5 < \alpha < 1$ a série apresenta correlação de longo alcance persistente; $\alpha = 1$ representa um ruído do tipo $1/f$; para $0 < \alpha < 0,5$ a série apresenta correlações anti-persistente; para $\alpha > 1$, as correlações existem, contudo não apresentam lei de potência. Para aplicar o método *DFA*, utilizou-se um programa disponível na página da *PhysioNet* (<http://www.physionet.org/>), um fórum on-line que reúne uma grande coleção de registros de sinais biomédicos e softwares para análise. As séries de velocidade do vento foram aleatorizadas para estudar a origem das correlações temporais. Esse procedimento anula as correlações nas séries ($\alpha_A \cong 0,5$), preservando a distribuição dos valores. Isto significa que as correlações de longo alcance presentes nas séries têm origem na organização temporal dos dados e não em sua distribuição.

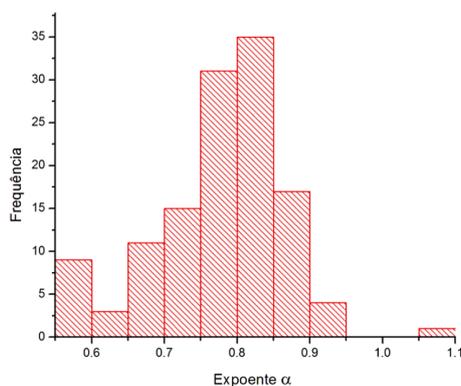
Resultados e discussões

Os resultados das medidas descritivas das estações do Nordeste são apresentados na Tabela 1. Nota-se que as estações da Paraíba e Pernambuco apresentam, em média, as maiores elevações em relação ao nível do mar. No entanto, Alagoas, Rio G. do Norte e Sergipe destacam-se por terem suas estações mais próximas do mar, em média. O Estado da Bahia concentra um terço das 126 as estações meteorológicas instaladas no Nordeste.

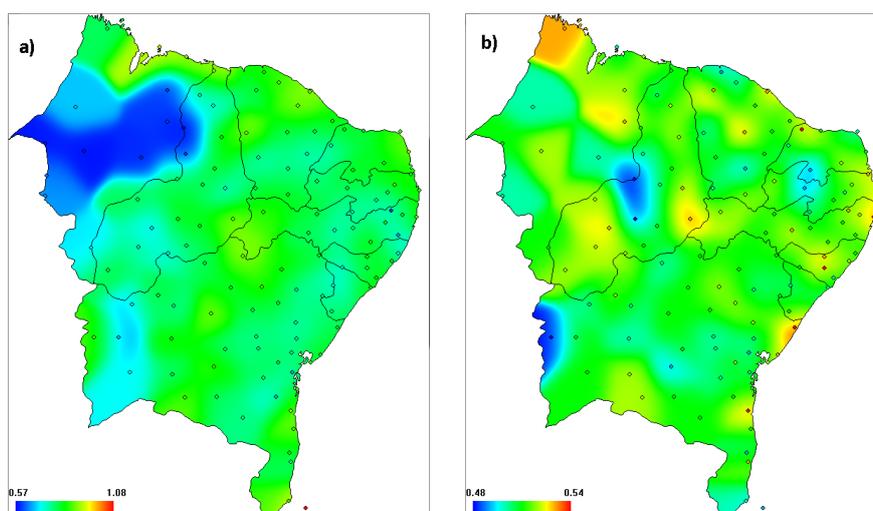
Tabela 1: Estatísticas descritivas das informações geográficas dos Estados do Nordeste.

Estados	Altitude Média (m)	Maritimidade Média (Km)	Total de Estações	Amostra Total
Alagoas	115,42	72,53	06	139.325
Bahia	362,31	287,02	41	908.824
Ceará	252,19	202,02	14	314.378
Maranhão	152,67	385,64	15	332.559
Paraíba	607,33	154,31	08	191.308
Pernambuco	423,01	248,28	12	275.290
Piauí	239,33	488,68	19	419.246
Rio G. do Norte	97,00	67,24	07	162.046
Sergipe	222,00	88,09	04	98.135

Observa-se na Figura 1 que o expoente DFA concentra-se entre 0,65 e 0,95, isto indica que a maior parte das séries de velocidade do vento apresentam correlações de longo alcance persistentes.

Figura 1: Histograma do expoente DFA das séries de velocidade do vento no Nordeste.

Foi construída na Figura 2 (a) uma superfície geográfica representativa da distribuição do expoente α e (b) expoente α_A aleatorizado das séries de velocidade do vento, utilizando a técnica de *Kernel Smoothing* (BOWMAN, A. W.; AZZALINI, A., 1997).

Figura 2: a) Distribuição contínua do expoente α e b) Distribuição contínua do expoente α_A

Conclusões

Neste trabalho estudaram-se as correlações nas séries temporais de velocidade do vento no Nordeste. Os resultados mostraram que, praticamente, todas as séries apresentaram correlações de longo alcance persistentes, com $0,5 < \alpha < 1$, e que as correlações de longo alcance têm sua origem na organização temporal das séries e não em suas distribuições, em virtude do expoente $\alpha_A \cong 0,5$.

Referências

BOWMAN, A.W.; AZZALINI A. *Applied smoothing techniques for data analysis: the kernel approach with s-plus illustrations*. NY: Oxford University Press, 1997.

COSTA, R. L.; VASCONCELOS, G. L. Long-range correlations and nonstationarity in Brazilian stock market. *Physica A*, Netherlands, v.329, pp. 231-248, 2003.

ECHNER, J. F. et al. Power-law persistence and trends in the atmosphere: A detailed study of long temperature records. *Physical Review E*, Netherlands, v. 68, 06133, 2003.

KAVASSERI R. G.; NAGARAJAN R. A multifractal description of wind speed records. *Chaos, Solitons & Fractals*, v. 24, p. 165, 2005.

PENG, C. K. et. al. Mosaic organization of DNA nucleotides. *Physical Review E*, v. 49, n. 2, pp. 1685-1989, 1994.