

COMPORTAMENTO DE ESCALA DA VELOCIDADE DO VENTO NA COSTA DO BRASIL E NO OCEANO ATLÂNTICO SUL

José Vicente Cardoso Santos¹, Davidson Martins Moreira², Marcelo A. Moret³

¹ Professor Titular do Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia SENAI CIMATEC, Avenida Orlando Gomes, 1845 - Piatã, Salvador - BA, Brasil. Cep.: 41650-010. prof.vicentecardoso@gmail.com

² Professor Titular do Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia SENAI CIMATEC, Avenida Orlando Gomes, 1845 - Piatã, Salvador - BA, Brasil. Cep.: 41650-010. davidson.moreira@gmail.com

³ Professor do Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia SENAI CIMATEC, Avenida Orlando Gomes, 1845 - Piatã, Salvador - BA, Brasil. Cep.: 41650-010. moret@fieb.org.br

RESUMO

O acúmulo de dados climáticos tem sido uma prática constante no mundo, no Brasil, estes registros se intensificam em coletas costeiras e oceânicas com o PNBOIA e que compõem um conjunto de séries temporais de variáveis climáticas espaçadas no tempo com registros heterogêneos em função da cronologia de funcionamento de cada Bóia. O objetivo deste estudo é prover uma análise da velocidade do vento na costa brasileira e no Atlântico Sul, com vistas a instrumentalizar eventuais correlações o comportamento em escala da velocidade do vento no mar no período de 2016-2017, bem como a melhor compreensão dos ciclos climatológicos. Utiliza-se as análises estatísticas clássicas seguindo o método DFA (*Detrended Fluctuation Analysis*). Conclui-se com o registro de que existem leis de potência que governam as grandezas climatológicas analisadas no mar, na costa brasileira e no Atlântico Sul, não obstante, não é verificada a existência do fenômeno do crossover em cenários *off-shore*.

PALAVRAS-CHAVE: Off-Shore. Energia eólica. Complexidade. DFA. PNBOIA.

1. INTRODUÇÃO

A crise energética mundial tem sido um cenário recorrente desde finais do século passado e com isto novas demandas de fontes alternativas de energia consolidam-se como foco de pesquisas em todo o mundo^{1,2}. Para prospectar novas fontes energéticas é prática comum as pesquisas e observações de comportamentos de variáveis naturais de toda ordem. Por exemplo, o movimento das águas de um rio, o comportamento das variações de temperatura em um ambiente específico, a análise das variações de energia em reações químicas, etc. Estas observações geram uma vasta fonte de dados que, nos casos de variáveis climatológicas, acumulam-se em séries temporais com coletas automáticas que fazem crescer as bases de dados em todo o mundo^{3,4}. No entanto, neste estudo considera-se somente as bases com informações sobre a velocidade do vento no mar.

Neste sentido, pode-se verificar a existência de diversas pesquisas sobre o comportamento do vento, em especial com a sua velocidade, e demais grandezas ambientais correlacionadas, no continente e no mar, em regiões próximas da costa e em alto mar, em todo o mundo, conforme se observa em outros trabalhos^{5,6,7}. Estes estudos analisaram as correlações temporais nas variações da temperatura da superfície do mar nos oceanos Atlântico e Pacífico com métodos clássicos, porém, sem o registro de qualquer análise de persistência ou leis de potência associadas. Entretanto, já em 2008, alguns trabalhos examinaram vários métodos para a detecção de correlações de longo alcance⁶.

O objetivo deste estudo é analisar a velocidade do vento na costa brasileira e no Atlântico Sul, com vistas a encontrar eventuais correlações do comportamento em escala da velocidade do vento no mar no período de 2016-2017. Desta forma, será possível obter-se eventuais correlações de outras variáveis com o comportamento em escala da velocidade do vento no mar e, prover uma melhor compreensão dos ciclos climatológicos usando o método DFA (*Detrended Fluctuation Analysis*)⁷.

2. METODOLOGIA

A análise feita através do método DFA privilegia a percepção das flutuações sem tendências que foi introduzida⁷, onde, na época, utilizou-se uma análise de sequências gênicas e, a partir daí, vem sendo usada como uma técnica para quantificar correlações em séries temporais não estacionárias em diversas aplicações^{8,9}. Este método é uma derivação do método denominado FA (*Fluctuation Analysis*), pois o DFA propõe um algoritmo que elimina a tendência da série temporal em diferentes escalas, normalizando a mesma com a sua média e analisando especificamente flutuações intrínsecas dos dados. Desta forma, é verificado com a técnica DFA os conceitos de autossimilaridade nas estruturas de cada variável considerada¹⁰, pois ao extrair-se uma fração da mesma e aumentando-a até o tamanho da estrutura original com o mesmo fator de ampliação, para o comprimento e largura, tem-se as mesmas em semelhanças. Isto torna possível comparar as

propriedades estatísticas de cada uma das variáveis a fim de considerar o fractal respectivo⁷ que poderá representá-las em função do expoente de potência associado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A costa brasileira, em especial nas proximidades do continente e nos limites da plataforma continental do Brasil, bem como todo o Oceano Atlântico Sul, faz parte de uma vasta região oceânica que conta com uma grande deficiência de dados meteorológicos. Neste sentido, e em de acordo com a Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar¹¹, que o Brasil é fiel signatário, tem a responsabilidade de gerar e disseminar produtos climatológicos e meteorológicos¹².

A Marinha brasileira adota um conjunto de procedimentos para consolidar as demandas¹¹, a citar tem-se o PNBOIA (Programa Nacional de Bóias) que tem como objetivo a coleta de dados, tanto meteorológicos quando oceanógrafos na costa brasileira e no Atlântico, cobrindo-se assim uma área de aproximadamente 10 milhões de quilômetros quadrados e que fazem parte do oceano Atlântico¹². As séries temporais analisadas neste trabalho foram coletadas nas bóias na costa brasileira e no Oceano Atlântico Sul¹³, conforme verifica-se a localização de cada uma delas na Tabela 1. Esta tabela apresenta também os respectivos expoentes de escala encontrados usando o método DFA.

Tabela 1: Localização das bóias e seus respectivos expoentes de escala usando o método DFA.

Localidade da Bóia			Valores de expoente de escala F(n)/n			
Litoral	Long.	Lat.	α_1	σ_1	α_2	σ_2
Fortaleza	-38,431	-3,209	0,90	0,01	---	---
Itajaí	-47,389	-28,515	1,25	0,02	---	---
Niteroi	-43,144	-22,894	0,51	0,01	---	---
Porto Seguro	-37,949	-15,993	0,48	0,01	---	---
Rio Grande do Sul	-49,842	-31,563	0,77	0,01	---	---

Existem outros trabalhos já publicados que evidenciam a existência do fenômeno do *crossover* (aparecimento de mais de uma escala na série)³. Ressalta-se o trabalho¹⁷, o qual analisou correlações de longo alcance no estado da Bahia usando dados observados com a técnica DFA e estatísticas clássicas, juntamente com simulações no WRF, onde foi verificado também dois regimes de escalas distintos, indicando a existência do *crossover*. Não obstante, outros trabalhos clássicos registram apenas a variável da velocidade do vento e somente analisam no continente, não consolidando análise no mar, nem próximo da costa nem em alto mar, conforme observado na bóia analisada preliminarmente na Figura 1 localizada nas proximidades de Itajaí, Santa Catarina.

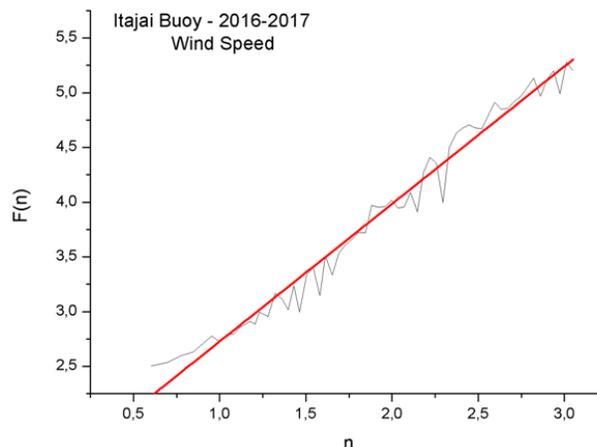


Figura 1: Lei de potência obtida a partir dos dados de velocidade do vento na bóia em Itajaí.

Conforme indicado nos resultados, ressalta-se o caráter subdifusivo nos dados analisados na bóia localizada nas proximidades de Itajaí. A literatura tem apontado um caráter persistente em situações *off-shore*.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As flutuações na velocidade do vento permitem observar que em curtas escalas de tempo (horas), são dominadas por fenômenos atmosféricos governados por um sistema local ou regional. Vale o registro de que o mesmo ocorre para outras variáveis (temperatura, pressão, etc), enquanto que para grandes escalas de tempo (dias a meses) as flutuações são influenciadas por um sistema mais geral denominado de sistema global¹⁵. A detecção deste fenômeno em outras variáveis simultaneamente, por exemplo, na temperatura e na velocidade do vento, podem indicar a existência de correlação entre elas também, bem como ao fato de serem regidos de forma concomitante por fenômenos globais em longa escala de tempo e flutuações locais em pequenas escalas temporais. Este é o caso das zonas de alta pressão, das regiões equatoriais, e as zonas de baixa pressão dos trópicos, gerando constância, por exemplo, da velocidade do vento, que são os ventos alísios, indicando um maior potencial eólico¹⁶.

As bóias localizadas na extremidade da plataforma continental brasileira, apresentam a inexistência do fenômeno do crossover, que é separação entre as escalas com possíveis efeitos de turbulência e correlação de longo alcance. Resultados preliminares evidenciam esta realidade, não obstante tem-se como etapa seguinte a esta pesquisa a coleta de novos dados e a simulação desta vasta área analisada com o modelo numérico WRF (*Weather Research and Forecasting*).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro do CNPq, FAPESB e SENAI-CIMATEC.

5. REFERÊNCIAS

- ¹ Brasil. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE-ANEEL). Decreto nº 5.177. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces>. Acesso em: 5 fev 2019a.
- ² Brasil. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional. Relatório Síntese. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/>. Acesso em 1 fev 2019b.
- ³ Koçak, K., 2009. Examination of persistence properties of wind speed records using detrended fluctuation analysis. *Energy* 34, 1980-1985.
- ⁴ Orun, M. and Koçak. K., 2009. Application of detrended fluctuation analysis to temperature data from Turkey. *Int. J. Climatol.* 29, 2130-2136.
- ⁵ Monettia, R.A., Havlina, S., Bunde, A. Long-term persistence in the sea surface temperature Fluctuations. 2003. *Physica A* 320. 581 - 589. www.elsevier.com/locate/physa.
- ⁶ Bashana, A., Bartsch, R., Kantelhardt, J.W., Havlin, S. Comparison of detrending methods for fluctuation analysis. 2008. *Physica A* 387. 5080-5090. Contents lists available at ScienceDirect. *Physica A. Journal Homepage:* www.elsevier.com/locate/physa.
- ⁷ Peng C.K., Buldyrev, S.V., Havlin, S., Simons, M., Stanley, H.E. and Goldberger, A.L., 1994. Mosaic organization of DNA nucleotides. *Physical Review E* 49(2), 1685-1989.
- ⁸ Bunde, A., Havlin, S., Kantelhardt, J.W., Penzel, T., Peter, J.H. and Voigt, K., 2000. Correlated and uncorrelated regions in heart-rate fluctuations during sleep. *Physical Review Letters* 85, 3736-3739.
- ⁹ Ivanov, P., Rosenblum, M.G., Peng, C.K., Mietus, J., Havlin, S., Stanley, H.E. and Goldberger, A.L., 1996. Scaling behavior of heartbeat intervals obtained by wavelet-based time-series analysis. *Nature* 383, 323-327.
- ¹⁰ Addison, P.S., 1997. *Fractals and Chaos: An Illustrated Course*. 1a. Ed. London, CRC Press, 256pp.
- ¹¹ SOLAS, 2014. Convenção internacional para salvaguarda da vida humana no mar SOLAS 1974/1988, Soppa, M.A., Souza, R.B. de & Pezzi, L.P., 2011.
- ¹² Brasil, 2017a. Bóia Cabo Frio. Available at: <http://www.goosbrasil.org/pnboia/dados/>. Acesso em 25 fev 2019.
- ¹³ Kirinus, E. P.; Oleinik, P. H.; Costi, J.; Marques, W. C. 2018. Long-term simulations for ocean energy off the Brazilian coast.
- ¹⁴ Assireu, A. T.; Rosa, R. R.; Vijaykumar, N. L.; Lorenzetti, J. A.; Rempel, E. L.; Ramos, F. M.; Abreu Sá, L. D.; Bolzan, M. J. A.; Zanandrea, A. 2002. Gradient pattern analysis of short nonstationary time series: an application to Lagrangian data from satellite tracked drifters.
- ¹⁵ Kavasseri, R.G. and Nagarajan, R., 2004. Evidence of crossover phenomena in wind speed data. *IEEE Transactions on Circuits and Systems* 51, 2255-2262.
- ¹⁶ Pegorelli, C.; Dottori, M.; Fortes, J. F. 2018. Evaluating the gravity wave energy potential off the Brazilian coast.
- ¹⁷ Santos, J.V.C., Moreira, D.M., Moret, M.A., Nascimento, E.G.S. Analysis of long-range correlations of wind speed in different regions of Bahia and the Abrolhos Archipelago, Brazil. 2018. *Energy* 167 (2019) 680-687.