

PARAMETRIZAÇÕES DE RAJADAS DE VENTO BASEADAS EM EQUAÇÕES DE ESPECTRO DE ENERGIA CINÉTICA TURBULENTA

LUCAS DA COSTA BERNA¹; JONAS DA COSTA CARVALHO²

¹Universidade Federal de Pelotas – lucas.berna@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – jonas.carvalho@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Rajadas de ventos são caracterizadas por grandes variações na velocidade e direção do vento em curtos intervalos de tempo, geralmente menores que 20 segundos. Essas flutuações podem facilmente exceder o dobro da velocidade média do vento em eventos climáticos extremos (AZAD e ALAM, 2010).

Modelos numéricos de previsão do tempo como, por exemplo, o *Weather Research Forecast* (WRF), realiza o prognóstico do campo de vento em grandes intervalos de tempo. Torna-se necessário, portanto, a obtenção de parametrizações para estimar as rajadas de vento que ocorrem em intervalos de tempo muito curtos (SHERIDAN, P, 2011).

O objetivo deste trabalho é realizar estimativas de rajada de vento a partir do campo de Energia Cinética Turbulenta (ECT) na Camada Limite Atmosférica (CLA). Para isso, propõe-se uma nova abordagem para o cálculo de rajada de forma que a ECT é determinada pelas equações do espectro de turbulência, como sugerido por Mangia et al. (2000) e Degrazia et al. (2000).

A partir do cálculo da ECT com as expressões do espectro, utilizam-se parametrizações de rajada disponíveis na literatura para reproduzir os valores medidos por Estações Meteorológicas de Superfície (EMS).

2. METODOLOGIA

Neste trabalho são utilizados, para avaliação dos resultados simulados, dados horários observados pela EMS do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada na cidade de Bagé (Tabela 1). O período considerado para a análise é de 9 a 19 de setembro de 2018.

Tabela 1 - Características da EMS do INMET utilizada no estudo

Estação	Código	Tipo	Coordenadas (°)		Altitude (m)
			Latitude	Longitude	
Bagé	A827	Automática	-31,34	-54,01	230,0

Para a realização da simulação das condições do tempo no período estudado, foi utilizado o modelo numérico WRF. Através do *downscaling* dinâmico realizado pelo modelo, são obtidos os valores das variáveis utilizadas para o cálculo da ECT, através das equações do espectro de turbulência e da variância de velocidade turbulenta.

A dispersão turbulenta na CLA é gerada por dois processos: mecânico, relacionado ao cisalhamento do vento, e térmico, resultado do mecanismo de força de empuxo. Então, assumindo a hipótese de superposição dos efeitos produzidos pelas duas forçantes, pode-se escrever os espectros Eulerianos dimensionais (DEGRAZIA et al., 2000):

$$S_i^E(n) = S_{ib}^E(n) + S_{is}^E(n) \quad (1)$$

onde o primeiro termo representa a produção por empuxo e o segundo termo representa a componente mecânica, sendo que o subscrito b representa o empuxo, s representa o cisalhamento e $i = u, v, w$. O desenvolvimento das equações espectrais utilizadas é descrito com detalhes em Mangia et al. (2000) e Degrazia et al. (2000). Para calcular a ECT, utilizam-se as expressões para as variâncias de velocidade térmica e mecânica, obtidas integrando-se os espectros Eulerianos de ECT em todo o domínio de frequências.

O cálculo para a obtenção dos valores de rajada de vento é realizado através de uma rotina escrita em linguagem de programação FORTRAN. A rotina recebe as variáveis e os parâmetros de escala gerados pelo modelo WRF e calcula a rajada de vento com base nas equações do espectro de ECT e das variâncias de velocidade turbulenta.

Os valores de ECT são aplicados para estimar as rajadas de vento conforme Kurbatova et al. (2018), Born et al. (2012) e Schreur e Geertsema (2008). Kurbatova et al. (2018) sugerem a seguinte expressão:

$$w_{ge} = U + 3\sigma = U + 3\sqrt{q} \quad (2)$$

onde "wge" é a estimativa da rajada de vento, U é a velocidade média do vento, σ é o desvio padrão da velocidade do vento e q representa a ECT. Born et al. (2012) apresentam a seguinte equação:

$$w_{ge} = U + \sqrt{2q} \quad (3)$$

Schreur e Geertsema (2008) derivaram a equação de rajada como sendo:

$$w_{ge} = U \left(1 + g_{\sigma} \frac{\sqrt{2q}}{U} \right) \quad (4)$$

Considerando a duração da rajada de vento $t = 3$ s e a altura de observação $z = 10$ m, pode-se obter:

$$g = 1,42 + 0,3013 \ln \left(\frac{990}{U_t} - 4 \right) \quad (5)$$

e

$$r_{\sigma} = \left(1 - 0,069 \exp \left(-2,3 \frac{U_t}{z} \right) \right) \exp \left(-2,3 \left(\frac{U_t}{z} \right)^{0,555} \right) \quad (6)$$

Para a avaliação estatística dos resultados obtidos são calculados os seguintes índices: *Root Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) e BIAS (WILKS, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A região de Bagé esteve sob da atuação de cavados (áreas alongadas de baixa pressão) persistentes durante o período de estudo, tendo as rajadas de vento oscilado entre 55 km/h no momento de maior intensidade e menos de 10 km/h nos momentos de calmaria. A figura 1 ilustra que, de um modo geral, as parametrizações reproduzem de forma satisfatória os estágios de amplificação e enfraquecimento das rajadas de vento, porém cada parametrização estima de forma diferente os picos de rajada. O método de Kurbatova estima os valores de maior intensidade de maneira satisfatória, porém tende a superestimar os valores menos intensos. O método de Born representa melhor os valores de menor intensidade, mas não reproduz bem os maiores valores de rajada. Já a parametrização de Sheuer tende a superestimar os picos de rajada no período simulado.

A figura 2 apresenta os índices estatísticos calculados a partir da comparação entre as parametrizações de rajadas e os dados observados na estação de superfície. O índice RMSE evidencia que o método de Born, embora não reproduza satisfatoriamente os picos de rajada, gera os menores valores do índice, enquanto o método de Sheuer gera os maiores valores. O índice BIAS indica que o método de Sheuer apresenta, de uma forma geral, a tendência em superestimar os valores observados de rajada, enquanto que as parametrizações de Kurbatova e Born apresentam a tendência de subestimar. Os valores MAPE de Kurbatova e Born apresentam resultados satisfatórios, uma vez que estão entre 20% e 50%, enquanto que o método de Sheuer apresenta MAPE acima de 50%.

Figura 1 - Comparação entre rajadas de vento estimadas e observadas na EMS.

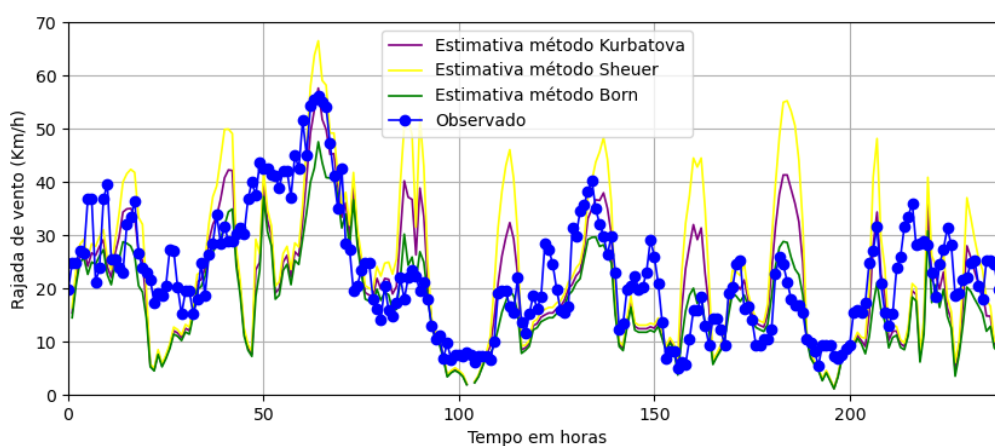
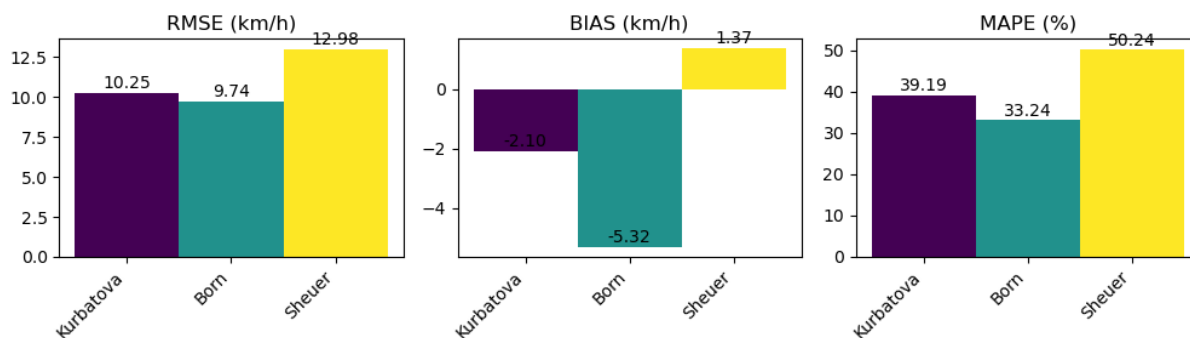


Figura 2 – Análise estatística com RMSE, BIAS e MAPE.



4. CONCLUSÕES

Conclui-se que as parametrizações de Kurbatova et al. (2018) e Born et al. (2012) apresentam resultados razoavelmente satisfatórios e podem ser aplicadas na região de Bagé, diante das condições de tempo verificadas. Já o método de Schreur e Geertsema (2008) não é recomendado para a situação estudada. Também, conclui-se que o cálculo da ECT a partir das equações de espectro turbulento é uma abordagem válida e que traz bons resultados quando associadas às parametrizações de rajada de vento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZAD, A. K.; ALAM, M. M. Determination of Wind Gust Factor at Windy areas of Bangladesh. **Proceedings of the 13th Asian Congress of Fluid Mechanics**, p. 17-21, Dhaka, Bangladesh, December, 2010.

BORN, K.; LUDWIG, P.; PINTO, J. G. Wind gust estimation for Mid-European winter storms: towards a probabilistic view, **Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography**, v. 64, Cologne, Germany, 2012.

DEGRAZIA, G. A.; ANFOSSI, D.; CARVALHO, J. C.; MANGIA, C.; TIRABASSI, T.; VELHO, H. F. C. Turbulence parameterisation for PBL dispersion models in all stability conditions. **Atmospheric Environment**, v. 34, p. 3575-3583, 2000.

KURBATOVA M.; RUBINSTEIN K.; GUBENKO I.; KURBATOV G. Comparison of seven wind gust parameterizations over the European part of Russia. **Advances in Science & Research**, v. 15, p. 251–255, November, 2018.

MANGIA, C.; DEGRAZIA, G. A.; RIZZA, U. An Integral Formulation for the Dispersion Parameters in a Shear-Buoyancy-Driven Planetary Boundary Layer for Use in a Gaussian Model for Tall Stacks. **Journal of Applied Meteorology**, November, 2000.

SCHREUR, B. W.; GEERTSEMA, G. Theory for a TKE based parameterization of wind gusts. **HIRLAM Newsletter**, Citeseer, n. 54, p. 177–188, December, 2008.

SHERIDAN, P. Review of techniques and research for gust forecasting and parameterisation. **Forecasting Research Technical Report**, v. 570, Abril, 2011.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. Academic Press, 2011.