

Misturas de distribuições heterogêneas aplicadas a dados de velocidade do vento: modelagem e identificabilidade

Felipe R. S. Gusmão
Aline M. K. Almeida

Raquel F. Nicolette
Pâmella B. C. Teixeira

Samanta M. Quadros*
Antony T. Oliveira

Universidade Federal do Rio Grande - Instituto de Matemática, Estatística e Física

96203-900, Campus Carreiros, Rio Grande, RS

E-mail: felipe556@gmail.com, raquelnicolette@furg.br, samdequadros@gmail.com,
klein.alinemanuela@gmail.com, pamellateixeira@gmail.com, anttonyteixeira@hotmail.com

RESUMO

A modelagem probabilística da velocidade do vento é um componente essencial na análise do potencial eólico. Modelos uniparamétricos ou de baixa dimensionalidade, como as distribuições Weibull, Lognormal e Gama, são largamente utilizados na literatura para descrever regimes unimodais de vento, com diferentes padrões de assimetria e cauda. Revisões recentes mostram, porém, que tais modelos podem ser inadequados em contextos com regimes múltiplos ou influenciados por diferentes sistemas atmosféricos, nos quais a distribuição empírica apresenta bimodalidade ou caudas mais pesadas do que as previstas pelo ajuste simples de Weibull ou Lognormal.

Uma alternativa natural consiste em empregar misturas finitas de distribuições, nas quais a densidade de velocidade do vento é escrita como combinação convexa de modelos paramétricos ponderados. Neste contexto, grande parte dos estudos tem explorado misturas cujos componentes pertencem à mesma família (por exemplo, misturas Weibull–Weibull), ou então combinações de modelos clássicos como Weibull, Lognormal, Gama e distribuições de valores extremos. Tais abordagens mostram ganho significativo de flexibilidade e melhoria nos critérios de ajuste quando comparadas a modelos simples, sobretudo em regiões com regimes de vento bimodais ou altamente variáveis.

Do ponto de vista teórico, entretanto, misturas de distribuições paramétricas levantam questões delicadas de identificabilidade: sob quais condições os parâmetros das componentes e os pesos de mistura são univocamente determinados pela distribuição resultante? Estudos clássicos fornecem condições suficientes para a identificabilidade de misturas finitas, em termos de independência linear das densidades componentes e de propriedades da função geradora de momentos ou da função característica. Esses resultados mostram que, mesmo quando uma família contínua é identificável, misturas específicas podem apresentar problemas de não-identificabilidade, como forte correlação entre parâmetros, múltiplos máximos locais da verossimilhança e sensibilidade extrema a valores iniciais.

Neste projeto, propomos estudar misturas de distribuições heterogêneas aplicadas a séries de velocidade do vento, isto é, modelos em que as componentes pertencem a famílias paramétricas distintas (por exemplo, Weibull–Lognormal, Weibull–Gama, Lognormal–GEV), em contraste com misturas de distribuições de mesma família. A hipótese de trabalho é que, para determinados regimes de vento, a combinação de famílias distintas permite capturar de maneira mais parcimoniosa a bimodalidade e as caudas do processo ao mesmo tempo em que reduz cenários práticos de não-identificabilidade que surgem em misturas puramente homogêneas (por exemplo, misturas Weibull–Weibull com parâmetros altamente correlacionados).

*Bolsista de Mestrado – CNPq/PIBPG

Os objetivos específicos são: (i) revisar criticamente a literatura sobre modelos de mistura para dados de vento, com foco em combinações de distribuições não pertencentes à mesma família; (ii) formular e estudar uma classe de modelos de mistura heterogênea adequada a dados de velocidade do vento, em que cada componente tenha interpretação física associada a um regime atmosférico distinto; (iii) investigar, por meio de estudos de simulação e análise da verossimilhança, a ocorrência de problemas de identificabilidade em misturas homogêneas e compará-los com o comportamento de misturas heterogêneas; e (iv) aplicar os modelos propostos a séries de velocidade do vento medidas em estações meteorológicas brasileiras, avaliando o desempenho em termos de critérios de informação, diagnósticos gráficos e medidas de erro relevantes para o cálculo de energia eólica.

Metodologicamente, serão consideradas estratégias de estimação baseadas em máxima verossimilhança, com implementação via algoritmo EM e métodos de otimização numérica (BFGS e algoritmos estocásticos), além de abordagens Bayesianas em cenários selecionados. A estabilidade das soluções será avaliada tanto por critérios clássicos (AIC, BIC, log-verossimilhança maximizada) quanto por medidas de sensibilidade a valores iniciais e por diagnósticos gráficos da superfície de verossimilhança. Assim, espera-se contribuir para a literatura de Ambientometria ao: (a) propor e avaliar misturas de distribuições heterogêneas para dados de vento; (b) discutir de forma explícita o papel da identificabilidade em misturas aplicadas a problemas ambientais; e (c) fornecer ferramentas práticas de modelagem para o planejamento dos recursos eólicos em regimes de vento complexos.

Palavras-chave: *Misturas finitas; Identificabilidade; Velocidade do vento; Weibull; Lognormal; Ambientometria*

Referências

- [1] Carta, J. A., Ramírez, P., Velázquez, S. (2009). A review of wind speed probability distributions used in wind energy analysis: Case studies in the Canary Islands. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(5), 933–955.
- [2] Kollu, R., Rayapudi, S. R., Narasimham, S. V., Pakkurthi, K. M. (2012). Mixture probability distribution functions to model wind speed distributions. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 3, 27.
- [3] Qin, X., Zhang, J., Yan, X. (2012). Two improved mixture Weibull models for the analysis of wind speed data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(7), 1321–1332.
- [4] Rajapaksha, K., Perera, K. (2016). Wind speed analysis and energy calculation based on mixture distributions in Narakkaliya, Sri Lanka. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 44(4), 361–369.
- [5] Teicher, H. (1963). Identifiability of finite mixtures. *Annals of Mathematical Statistics*, 34, 1265–1269.
- [6] Yakowitz, S. J., Spragins, J. D. (1968). On the identifiability of finite mixtures. *Annals of Mathematical Statistics*, 39, 209–214.