

**Modelagem da direção do vento em Patos na Paraíba utilizando a distribuição de
probabilidade de von Mises**

Wind direction modeling in Patos in Paraíba using von Mises probability distribution

**Modelado de dirección de viento en Patos en Paraíba utilizando la distribución de
probabilidad de von Mises**

Recebido: 16/12/2020 | Revisado: 17/12/2020 | Aceito: 21/12/2020 | Publicado: 27/12/2020

Fabio Sandro dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0135-4981>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: fabio.sandropb@gmail.com

Mickaelle Maria de Almeida Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4891-6184>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: mickaellealmeida1@gmail.com

José Eduardo Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8483-0305>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: profeduardosilva3@gmail.com

Henrique Correia Torres Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9544-7774>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: henrique.santos@recife.ifpe.edu.br

Tatijana Stosic

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5691-945X>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: tastosic@gmail.com

Resumo

Objetivo: utilizamos a distribuição de probabilidade circular de von Mises para determinar a direção predominante do vento em Patos na Paraíba. Método: utilizaram-se dados horários de direção do vento circular, obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, no período de 21 de julho de 2007 a 30 de setembro de 2018. Foi aplicada estatística circular aos

dados, mais precisamente, a distribuição de von Mises. Resultados: Os resultados das análises demonstraram que a distribuição de von Mises se ajustou bem aos dados de direção de vento, verificando que a direção do vento nesse município está com uma alta variação no sentido Sudeste. Conclusão: A análise permitiu ser uma ferramenta útil para uma possível instalação de um parque eólico, obtendo um maior aproveitamento da direção do vento, na localidade.

Palavras-chave: Fonte energética; Circular; Ventos; Estatística circular.

Abstract

Objective: we used the distribution of circular probabilities of von Mises to determine the predominant wind direction in Patos, Paraíba. Method: we used hourly data of circular wind direction, obtained by the National Institute of Meteorology - INMET, from July 21, 2007 to September 30, 2018. Circular statistics were applied to the data, more precisely, the von Mises distribution. Results: The results of the analyses showed that the von Mises distribution adjusted well to the wind direction data, verifying that the wind direction in this municipality is with a high variation in the Southeast direction. Conclusion: The analysis allowed to be a useful tool for a possible installation of a wind farm, obtaining a greater use of the wind direction in the locality.

Keywords: Energy source; Circular; Winds; Circular statistics.

Resumen

Objetivo: utilizamos la distribución de probabilidad circular de von Mises para determinar la dirección predominante del viento en Patos en Paraíba. Método: utilizamos datos por hora de dirección circular del viento, obtenidos por el Instituto Nacional de Meteorología - INMET, del 21 de julio de 2007 al 30 de septiembre de 2018. Se aplicaron estadísticas circulares a los datos, más precisamente, a la distribución de von Mises. Resultados: Los resultados de los análisis mostraron que la distribución de von Mises se ajustó bien a los datos de dirección del viento, verificando que la dirección del viento en este municipio es con una alta variación en la dirección sureste. Conclusión: El análisis permitió ser una herramienta útil para una posible instalación de un parque eólico, obteniendo un mayor uso de la dirección del viento en la localidad.

Palabras clave: Fuente de energía; Circular; Vientos; Estadísticas Circulares.

1. Introdução

A direção do vento constitui uma variável complexa não linear na atmosfera, e nos últimos anos vem sendo muito estudada para seu aproveitamento na geração de energia eólica, configurando em fonte energética limpa e inesgotável. A geração deste tipo de energia se faz importante devido ao grande crescimento da população em todo o mundo, conferindo a necessidade de investimentos em novas fontes energéticas para suprir demandas, substituindo assim as fontes energéticas convencionais, a exemplo da energia gerada das forças das águas como a principal fonte energética (Guignard et al., 2019).

Cabe dar ênfase que na geração de energia eólica não há poluição do meio ambiente (Camelo et al., 2015). Desta forma, resultando em sua grande contribuição para a diminuição no aquecimento global, que nos últimos anos vem se produzindo várias formas de estudos e mecanismo para essa diminuição.

Abeeólica cita que até 2024 o Brasil terá uma produção de energia eólica de aproximadamente 20 MW, considerando apenas os contratos já assinados até o momento. Atualmente os principais estados produtores de energia eólica no Brasil são: o Rio Grande do Norte, Bahia, Ceara, Rio Grande do Sul e do Piauí. Contudo, o Rio Grande do Norte se destaca como o maior produtor eólico, bem com exportador deste recurso (Abeeólica, 2019b). Desta forma o Brasil ocupa uma posição de destaque no cenário internacional, sendo o oitavo no ranking mundial de maior produtor de energia oriundas das forças do vento, atrás de países como China e estados Unidos (Abeeólica, 2018a).

O estado da Paraíba, nos últimos anos, vem atraindo investidores do setor de produção de energia eólica, os ventos desse estado em especial a região de Santa Luzia naquele apresentam características propícias para instalação de parques eólicos. Naquela região está sendo construído um dos maiores parques eólicos da América Latina, com uma capacidade de produção eólica de 565 megawatts (MW) de potência, cujos investimentos giram em torno de um bilhão de euros (Abeeólica, 2018c). Nascimento et al (2019), cita que as cidades próximas a Santa Luzia poderão vir a ser o grande polo de geração de energia eólica e Patos por ser próxima também será beneficiada por estar dentro de uma área com ventos favoráveis a instalação de parques eólicos.

O ajuste de modelos estatísticos aos dados de direção do vento, possibilita conhecer com detalhes o potencial da energia eólica de um determinado local, representando um dado relevante na seleção da localização para novas instalações eólicas. Outrossim possui impacto

tanto sobre o preço da energia gerada quanto o retorno do investimento (Heckenbergerova et al., 2015; Zhu & Yang, 2016).

Alguns modelos utilizados para esses ajustes são a distribuição uniforme, modelo de misturas independentes, distribuição wrapped-cauchy, distribuição wrapped-normal, Cadeia de Markov de primeira ordem, distribuição de von Mises e misturas de distribuição de von Mises (Basile et al., 2015; Hagen et al., 2013; Kamisan et al., 2010; Lang et al., 2020; Masseran 2015).

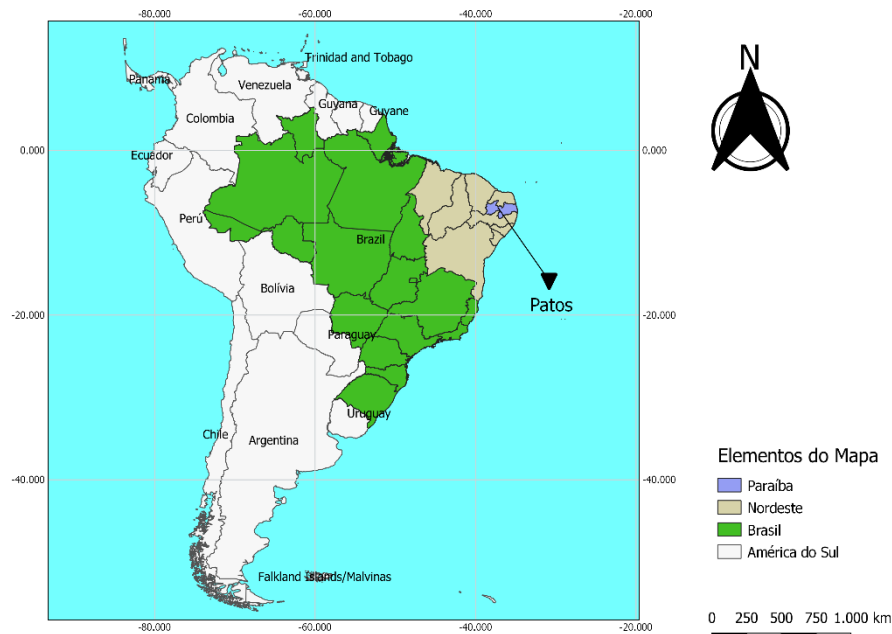
Dado a necessidade da verificação da direção predominante do vento na construção de um parque eólico o nosso objetivo é determinar a direção predominante do vento em Patos na Paraíba utilizando a distribuição de probabilidade von Mises.

2. Metodologia

2.1 Descrição dos dados

Neste trabalho os autores utilizaram dados horários de direção do vento circular, obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (INMET, 2020), no período de 21 de julho de 2007 a 30 de setembro de 2018, totalizando 11 anos de observações. Na figura 1 consta a localização geográfica da cidade de Patos como área estratégica à produção de energia eólica.

Figura 1. Mapa de localização geográfica da área de estudo.



Fonte: Autores.

2.2 Estatística circular

A estatística circular admite aplicação para uma ampla variedade de dados, sobretudo, dados de direção do vento. Esse método de análise contribui para estudos de viabilidade econômica, bem como para o desenvolvimento de políticas públicas em diversas áreas de conhecimento, a exemplo das áreas de geografia, geologia, meteorologia dentre outras.

Notadamente que observações sobre a direção dos ventos com base no uso do método de estatística circular tem como alicerce os pontos cardeais da rosa-dos-ventos (Zhan et al., 2019). Desta forma os ciclos temporalizados de maneira mensurados diariamente, mensalmente, anualmente ou por hora, remontam a base de dados para uso com o método.

Conjunto de informações utilizados em estatísticas circulares contém direta ou indiretamente informações direcionais. Essas informações direcionais são basicamente de dois tipos: *i*) observações direcionadas ou vetoriais, com direção especificada como um ângulo no intervalo $[0, 360]$ ou $[0, 2\pi]$; *ii*) e observações bidirecionais, em que apenas a orientação é determinada (Horák & Orlíková, 2019). De acordo com Pereira et al. (2018), esta pesquisa trata-se de um estudo de caso, de natureza quantitativa.

2.3 Estatística Descritiva Circular

Estatísticas descritivas circulares também oferecem medidas de tendência como direção média, mediana e medidas de variabilidade como a variância circular e desvio-padrão circular.

2.3.1 Média circular

Tendo os conjuntos de vetores unitários e o ponto final do vetor na direção do ângulo (θ), para entendimento e cálculo da média circular, admitindo $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$ um conjunto de amostras de dados circulares, tem-se:

$$X_i = \cos(\theta) \text{ e } Y_i = \text{sen}(\theta) \quad (1)$$

Levando em consideração que a soma dos componentes na coordenada X_i é representada por C e a soma dos componentes na coordenada Y_i representada por S. A soma dos componentes é dada por:

$$C = \sum_{i=1}^n \cos(\theta) \quad (2)$$

$$S = \sum_{i=1}^n \text{sen}(\theta) \quad (3)$$

e, a resultante R é dada por,

$$R^2 = S^2 + C^2 \quad (4)$$

A mesma, demonstra o resultado do comprimento do vetor e proporciona conhecimento sobre o grau de concentração dos ângulos observados. Importante ressaltar que R varia entre [0,1], de maneira que quanto mais próximo de 0, maior será a dispersão dos dados (Vitti et al., 2017, Miranda & Brighenti, 2010).

Neste sentido a média circular define-se pelo ângulo médio $\vec{\mu}$, que por sua vez corresponde ao vetor resultante atendendo as condições a seguir:

$$\cos(\vec{\mu}) = \frac{C}{R} \text{ e } \sin(\vec{\mu}) = \frac{S}{R} \quad (5)$$

e,

$$\vec{\mu} = \begin{cases} \text{atan}\left(\frac{S}{C}\right), \text{ se } S \geq 0 \text{ e } C > 0; \\ \text{atan}\left(\frac{S}{C}\right) + \pi, \text{ se } C < 0; \\ \text{atan}\left(\frac{S}{C}\right) + 2\pi, \text{ se } S > 0 \text{ e } C < 0 \end{cases} \quad (6)$$

A função arcotangente (atan) é a função inversa da tangente.

2.3.2 Variância circular

A variância circular da amostra pode ser calculada da seguinte forma:

$$V_{\theta} = 1 - \bar{R} \quad (7)$$

em que $\bar{R} = \frac{1}{n} \sqrt{C^2 + S^2}$. Quanto mais próximo de 1 o valor da variância circular, menor é a variabilidade dos dados, e quanto mais próximo do zero maior é a variabilidade (Hussin et al., 2006; Masseran 2015).

2.4 Distribuição de von Mises

A direção do vento é uma característica de dados direcionais ou circulares e os estudos que abrangem estas características de dados são únicos. Seja θ uma variável aleatória para a direção do vento que assume valores em $0^\circ < \theta \leq 360^\circ$ ou $0 < \theta \leq 2\pi$ radianos.

Então, a função de densidade circular para θ é uma função de densidade para a soma da probabilidade que converge para a circunferência de um círculo unitário. O intervalo para a variável circular aleatório θ pode assumir o valor $[0, 2\pi]$ ou $[-\pi, \pi]$ (Masseran & Razali, 2016).

Em 1918 von Mises a fim de estudar os desvios dos pesos atômicos medidos em relação aos valores integrais, desenvolveu uma distribuição de função de probabilidade cuja probabilidade total está concentrada na circunferência de um círculo unitário, tornando-a conhecida como distribuição de von Mises. Do ponto de vista da inferência estatística, essa distribuição é o modelo mais comum usado para modelar dados circulares, e pode ser escrita como:

$$f(\theta; \mu, K) = \frac{1}{2\pi I_0(K)} e^{K \cos(\theta - \mu)} \quad (8)$$

em que θ é uma variável aleatória que descreve a direção média do vento em radianos, onde $0 \leq \mu < 2\pi$, e $K \geq 0$ configurando os parâmetros e kappa que fornece o parâmetro de concentração (Gugliani et al., 2018; Masseran et al., 2013). Enquanto $I_0(K)$ da constante de normalização é a função de Bessel modificada do primeiro tipo e de ordem zero (Vitti et al., 2017), dada por:

$$I_0(K) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{K \cos \theta} d\theta = \sum_{r=0}^{\infty} \left(\frac{1}{r!}\right)^2 \left(\frac{K}{2}\right)^{2r} \quad (9)$$

A relevância desta distribuição e suas similaridades com a distribuição Normal, foram destacadas por Gumbel et al. (1953), por isso também ficou conhecida como distribuição normal circular (Kamisan et al., 2010).

3. Resultados e Discussão

Inicialmente foi realizada a interpolação nas séries temporais de direção do vento, com intuito de verificar se existe diferença entre média e o desvio padrão das observações, com a série interpolada e não interpolada. Como observado na Tabela 1, não houve diferença entre os parâmetros (média e desvio padrão) com os dados interpolados e os dados originais. Desta forma, utilizou os dados não interpolados para as análises estatísticas.

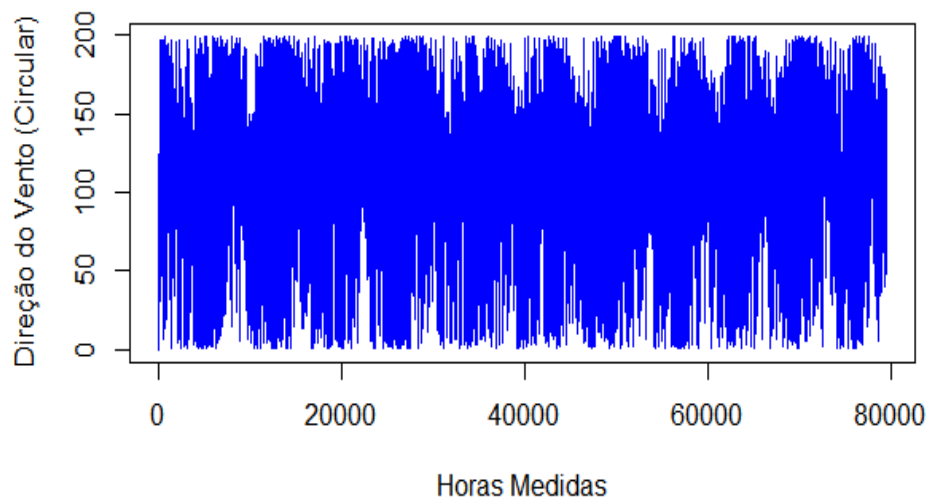
Tabela 1. Comparação entre os modelos de interpolação e as observações originais.

Parâmetros	Original	Interpolation	Kalman	Locf	Ma	Mean
Média	127,996	128,588	128,221	129,202	128,575	127,996
Desvio Padrão	61,386	61,956	60,186	64,305	62,064	59,455

Fonte: Autores.

Na Figura 2, verifica-se o comportamento da série de direção do vento em Patos, em que há um comportamento não estacionário da série, ou seja, a série apresenta comportamento circular não linear, como esperando, já que variáveis climáticas tem essas características comuns na natureza (Blain, 2011).

Figura 2. Série de direção do vento das observações obtidas pelo IMEP no período de 21 de janeiro de 2007 a 30 de setembro de 2018 para o município de Patos - PB.



Fonte: Autores.

Para a modelagem da direção do vento, foi utilizado o pacote *CircStats* (Lund, 2001), do software R (R core team, 2019). Para obtenção das medidas circulares de dispersão, como o valor de \bar{R} e a variância, foi usado o comando *circ.disp()*. Para mensurar a média, $\bar{\mu}$, foi usado o comando *circ.mean()*. O valor da estimativa da probabilidade máxima, *kappa()*, foi obtido através do comando *est.kappa()*. As estimativas dos parâmetros são exibidos na Tabela 2.

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros da distribuição de von Mises para a série de direção predominante do vento em Patos-PB.

Parâmetro	Valor
N	98159
$\vec{\mu}$	-1,236893
\bar{R}	0,6807499
var	0,3192501
k	1,893149

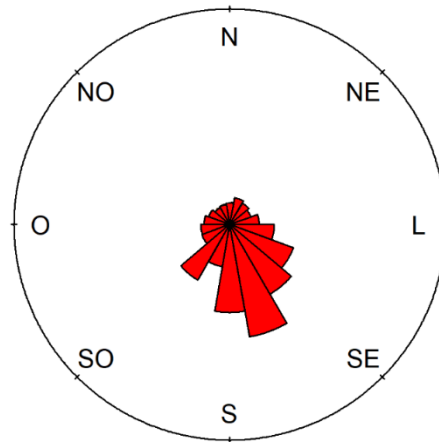
Fonte: Autores.

A partir a Tabela 2, observa-se que o parâmetro de concentração k é igual a 1,89, ou seja, a distribuição de von Mises tende a uma distribuição pontual concentrada em direção ao valor de $\vec{\mu}$ (Lagona, 2016). A distribuição de von Mises é simétrica em torno da média $\vec{\mu}$ da direção do vento. Quando o valor de $k = 0$ a distribuição de von Mises tende a uma distribuição uniforme (Kato & Jones, 2010). A razão de $1/k$ é a variação do valor k entorno da média. Neste caso, a direção do vento no município de Patos, é pontual entorno do valor médio da direção. Dessa forma, em sua grande maioria, a direção predominante sopra no mesmo sentido.

Foi ajustado a distribuição de von Mises aos dados de direção do vento (Figura 3), o modelo foi utilizado para descrever a direção predominante do vento na estação meteorológica em Patos. Através desta distribuição, o diagrama da rosa dos ventos foi dividido em 18 setores no sentido ante horário.

Também na Figura 3, verifica-se claramente que a direção predominante do vento, em sua maior parte, sopra do sudeste, com variação no sentido sudoeste e alguns momentos do subcolateral leste-sudeste. As outras direções demonstraram uma dispersão aproximadamente uniforme, o que indica que a direção do vento na estação meteorológica em Patos não é distribuída uniformemente, significando que em alguns momentos, as direções são mais frequentes do que outras.

Figura 3. Ajuste da distribuição de von Mises aos dados de direção do vento de no período de 21 de janeiro de 2007 a 30 de setembro de 2018 para o município de Patos - PB.



Fonte: Autores.

No caso de uma instalação de um parque eólico no município de Patos, os aerogeradores serão instalados com as pás voltadas no sentido sudeste, maximizando a quantidade total de energia capturada e otimizando o desempenho do parque eólico (Masseran, 2015), assim conseguindo um maior aproveitamento do vento para a geração de energia eólica na localidade.

4. Considerações Finais

A busca por geração de energia limpa e inesgotável faz os estudos por geração de energia eólica se tornarem uma ferramenta importante para a identificação de locais à instalação de parques eólicos. Desta forma, os resultados das análises demonstraram que a distribuição de von Mises se ajustou bem aos dados de direção de vento, para o município de Patos. Verificando que a direção do vento nesta localidade está distribuída uniformemente do leste a oeste no sentido anti-horário. Exibindo uma alta frequência no sentido Sudeste, essa direção implica em um maior benefício da direção do vento para a geração de energia eólica. Portanto, a análise permitiu ser uma ferramenta útil para uma possível instalação de um parque eólico.

Em trabalhos futuros, pode-se aplicar a metodologia de estatística circular de distribuição de probabilidade de von Mises comparando com outros modelos de distribuições para todo estado da Paraíba. Com isso, podemos saber qual a direção predominante do vento

em toda região. Essas informações são importantes na elaboração de um projeto de instalação de um parque eólico.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Programa de Pós Graduação em Biometria e Estatística Aplicada – UFRPE e ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

Referências

ABEEOLICA. Brasil avança em ranking de energia eólica com ventos entre os melhores do mundo (Reuters). (2018a). Recuperado de: <http://abeeolica.org.br/noticias/>.

ABEEOLICA. Energia eólica no Nordeste cresce e tem ápice na época de secas. (2019b). Recuperado de: <http://abeeolica.org.br/noticias/energia-eolica-no-nordeste-cresce-e-tem-apice-na-epoca-de-secas-jornal-metro/i>.

ABEEOLICA. Espanhola Iberdrola investe 1 bilhão de euros em complexo eólico no Brasil (Exame). (2018c). Recuperado de: <http://abeeolica.org.br/noticias/espanhola-iberdrola-investe-1-bilhao-de-euros-emi-h-complexo-eolico-no-brasil-exame/i>.

Blain, G. C. (2011). Modelagem de séries de temperatura mínima extrema sob condições de alterações climáticas. *Ciência Rural*, 41(11), 1877-1883.

Basile, S., Burlon, R., & Morales, F. (2015). Joint probability distributions for wind speed and direction. A case study in Sicily. *In 2015 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)* (pp. 1591-1596). IEEE. Doi: <https://doi.org/10.1109/ICRERA.2015.7418675>

do Nascimento Camelo, H., Teixeira, W. F., Lucio, P. S., & Junior, J. B. V. L. (2015). Previsão de Velocidade Média do Vento através da utilização de modelagem Auto-Regressiva

de Médias Móveis (ARMA) em Região Serrana no Estado do Ceará-Brasil. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 4(3).

Gugliani, G. K., Sarkar, A., Ley, C., & Mandal, S. (2018). New methods to assess wind resources in terms of wind speed, load, power and direction. *Renewable Energy*, 129, 168-182. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.05.088>

Guignard, F., Lovallo, M., Laib, M., Golay, J., Kanevski, M., Helbig, N., & Telesca, L. (2019). Investigating the time dynamics of wind speed in complex terrains by using the Fisher–Shannon method. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 523, 611-621. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.02.048>

Gumbel, E. J., Greenwood, J. A., & Durand, D. (1953). The circular normal distribution: Theory and tables. *Journal of the American Statistical Association*, 48(261), 131-152.

Hagen, B., Simonsen, I., Hofmann, M., & Muskulus, M. (2013). A multivariate Markov weather model for O&M simulation of offshore wind parks. *Energy Procedia*, 35, 137-147. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.07.167>.

Heckenbergerova, J., Musilek, P., Krömer, P. (2015). Optimization of wind direction distribution parameters using particle swarm optimization. In *Afro-European Conference for Industrial Advancement* (pp. 15-26). Springer, Cham. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-13572-4_2

Horák, J., & Orliková, L. (2019, May). Circular Statistics for Directional and Temporal Data: Case Studies of Lineaments and Noise Violations Offence. In *2019 International Conference on Military Technologies (ICMT)* (pp. 1-6). IEEE. Doi: 10.1109/MILTECHS.2019.8870075.

Hussin, A. G., Jalaludin, J. F., & Mohamed, I. (2006). Analysis of Malaysian wind direction data using AXIS. *Journal of Applied Science Research*, 2(11), 1019-1021.

Kamisan, N. A. B., Hussin, A. G., & Zubairi, Y. Z. (2010). Finding the best circular distribution for southwesterly monsoon wind direction in Malaysia. *Sains Malaysiana*, 39(3), 387-393.

Kato, S., & Jones, M. C. (2010). A family of distributions on the circle with links to, and applications arising from, Möbius transformation. *Journal of the American Statistical Association*, 105(489), 249-262. Doi: <https://doi.org/10.1198/jasa.2009.tm08313>.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. (2020). Recuperado de: <https://portal.inmet.gov.br/>.

Lagona, F. (2016). Regression analysis of correlated circular data based on the multivariate von Mises distribution. *Environmental and ecological statistics*, 23(1), 89-113. DOI 10.1007/s10651-015-0330-y.

Lang, M. N., Schlosser, L., Hothorn, T., Mayr, G. J., Stauffer, R., & Zeileis, A. (2020). Circular Regression Trees and Forests with an Application to Probabilistic Wind Direction Forecasting. *arXiv preprint arXiv:2001.00412*.

Lund, U. S-plus original by Ulric Lund and R port by Claudio Agostinelli (2018). *CircStats: Circular Statistics*, from “Topics in Circular Statistics” (2001). R package version 0.2–6. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=CircStats>. Acesso em 16/062020.

Masseran, N. (2015). Markov chain model for the stochastic behaviors of wind-direction data. *Energy conversion and management*, 92, 266-274. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.045>

Masseran, N., Razali, A. M. (2016). Modeling the wind direction behaviors during the monsoon seasons in Peninsular Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 1419-1430. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.040>.

Masseran, N., Razali, A. M., Ibrahim, K., & Latif, M. T. (2013). Fitting a mixture of von Mises distributions in order to model data on wind direction in Peninsular Malaysia. *Energy Conversion and Management*, 72, 94-102. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.11.025>.

Miranda, Y. S. S.; Brighenti, C. R. G. Distribuição vom Misses na avaliação de dados entomológicos. *19º Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística - SINAPE*, 2010.

do Nascimento, K. K. F., dos Santos, F. S., Gomes, D. A., da Silva Jale, J., Leite, R. S., Stosic, T., & Ferreira, T. A. E. (2019). Modelagem multifractal da velocidade horária do vento no município de Patos, Paraíba. *Sigmae*, 8(2), 238-247.

Pereira, AS, Shitsuka, DM, Parreira, FJ & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Recuperado de https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_MetodologiaPesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2019. Recuperado de <http://www.R-project.org>. Acesso em: 18/06/2020.

Vitti, D. M. C., Mauad, F. F., Jr, A. M., Inocêncio, L. C., & Veronez, M. R. (2017). Análise de Erros Sistemáticos em Ortofoto Gerada por Meio de Fotogrametria com RPAS. In *Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil*.

Zhan, X., Ma, T., Liu, S., & Shimizu, K. (2019). On circular correlation for data on the torus. *Statistical Papers*, 60 (6), 1827-1847. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00362-017-0897-5>.

Zhu, X., Yang, X. (2016, July). Uncertainties in directional offshore wind distribution estimate from satellite remote sensing. In *2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)* (pp. 4623-4626). IEEE. Doi: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7730206>.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Fábio Sandro dos Santos – 20%

Mickaelle Maria de Almeida Pereira – 20%

José Eduardo Silva – 20%

Henrique Correia Torres Santos – 20%

Tatijana Stosic – 20%