

# Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa

**DEI**  
DEPARTAMENTO  
DE ENGENHARIA  
INDUSTRIAL

Número 27 | 09 2021

## Validação da Representatividade das Séries de Velocidade do Vento Originadas de uma Base de Reanálise para o Território Brasileiro

Autor:

Saulo Custodio de Aquino Ferreira



# Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa

Número 27 | 09 2021

## Validação da Representatividade das Séries de Velocidade do Vento Originadas de uma Base de Reanálise para o Território Brasileiro

Autor:

Saulo Custodio de Aquino Ferreira

Orientador: Fernando Luiz Cyrino Oliveira

### CRÉDITOS:

SISTEMA MAXWELL / LAMBDA  
<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/>

Organizadores: Fernanda Baião / Soraida Aguiar

Layout da Capa: Aline Magalhães dos Santos

# Apresentação Pessoal

- Doutorado
- 6º Período
- Orientador: Fernando Luiz Cyrino Oliveira  
Co-orientadora: Paula Medina Maçaira Louro
- Área de Concentração: Pesquisa Operacional
  - Linha de Pesquisa: Métodos Estatísticos e Analytics
- Graduado em Engenharia de Produção (UFJF) e mestrado em Engenharia Elétrica (UFJF).

# Agenda

- Introdução
- Metodologia
- Resultados e Discussões
- Conclusões



# Introdução

- Para a estimação das gerações eólicas futuras, são necessários séries históricas de gerações eólicas medidas. Entretanto, nem sempre se tem disponível medições diretas para todas localidades, em muitos casos, a duração da série temporal é limitada e os dados são incompletos ou com erros de medição.
- Como alternativa a esta carência de dados, as bases de reanálises tem emergido como uma alternativa promissora.
- Bases de reanálise:
  - Longos históricos de dados;
  - Séries de Velocidade de Vento → Séries de Geração Eólica.

# Introdução

- OBJETIVOS:

- Verificar se as séries de velocidade de vento do MERRA-2 conseguem representar satisfatoriamente as séries históricas de vento medidas em pontos do território brasileiro.

# Metodologia

## ➤ MERRA-2:

- Base de reanálise atmosférica global produzida pela NASA, mais especificamente pelo *Global Modeling and Assimilation Office (GMAO)*;
- A base específica utilizada foi a “MERRA-2 tavg1\_2d\_slv\_Nx” que apresenta os dados em grade (Latitude e Longitude);
- Resolução da grade é  $0.5^\circ \times 0.625^\circ$  (50 km);
- Para cada ponto da grade é disponibilizado dados de diversas variáveis por hora desde 1980 até o presente momento;
- Os dados do MERRA-2 baixados para a localização geográfica do Brasil:
  - Coordenadas (latitude e longitude) dos pontos do MERRA-2;
  - Componentes u e v da velocidade do vento nas alturas de 10 e 50 metros.

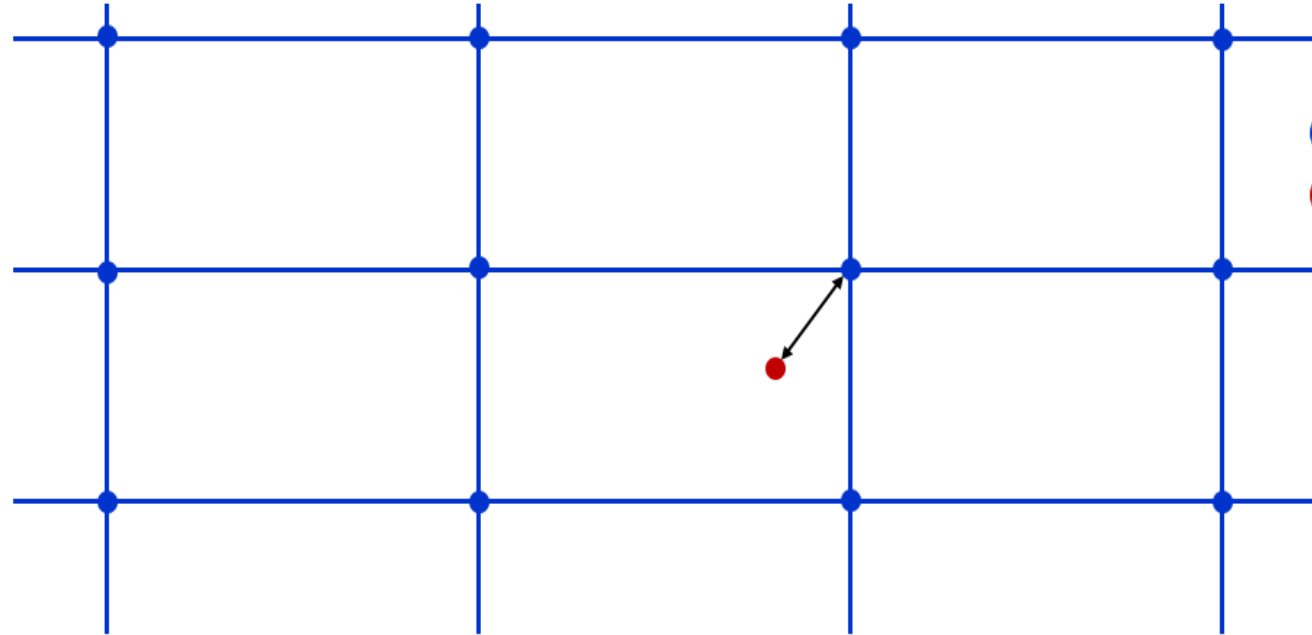
# Metodologia

- Interpolação;
- Extrapolação;
- Correção de Viés;
- Avaliação.





# Metodologia



LEGENDA :

● Pontos do MERRA-2

● Túrбина Eólica

- Interpolação:

- Vizinho mais Próximo; [Menos gasto computacional e não perde para demais];
- Ponderação de Distância Inversa;
- Bilinear;
- Bicúbica;
- LOESS.

# Metodologia

- Extrapolação:

- Calcule a velocidade efetiva a 10 e 50 m:

$$V_{ef} = \sqrt{u^2 + v^2}$$

- Lei da Potência de Hellman:

- Calculo dos expoentes  $\alpha$  ;

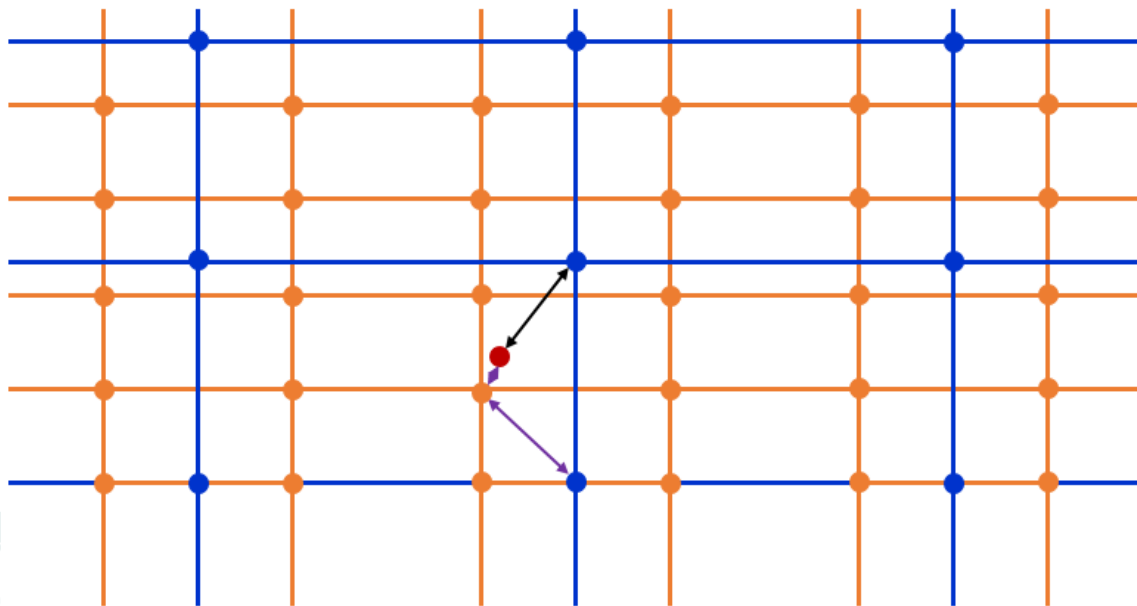
- Em seguida, calculo da série de velocidade do vento na altura do rotor da turbina.

$$V(h_1) = V(h_2) \cdot \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^\alpha$$

# Metodologia

- Correção do Viés:

- The Global Wind Atlas (GWA) – Velocidade Média por ponto da grade.



- LEGENDA :
- Pontos do MERRA-2
  - Turbina Eólica
  - Pontos do GWA

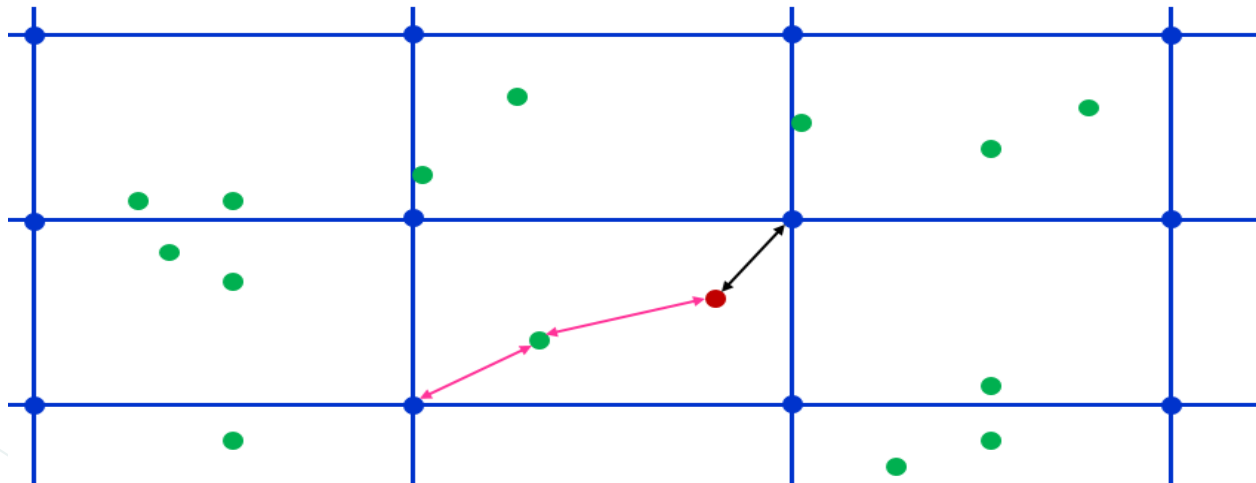
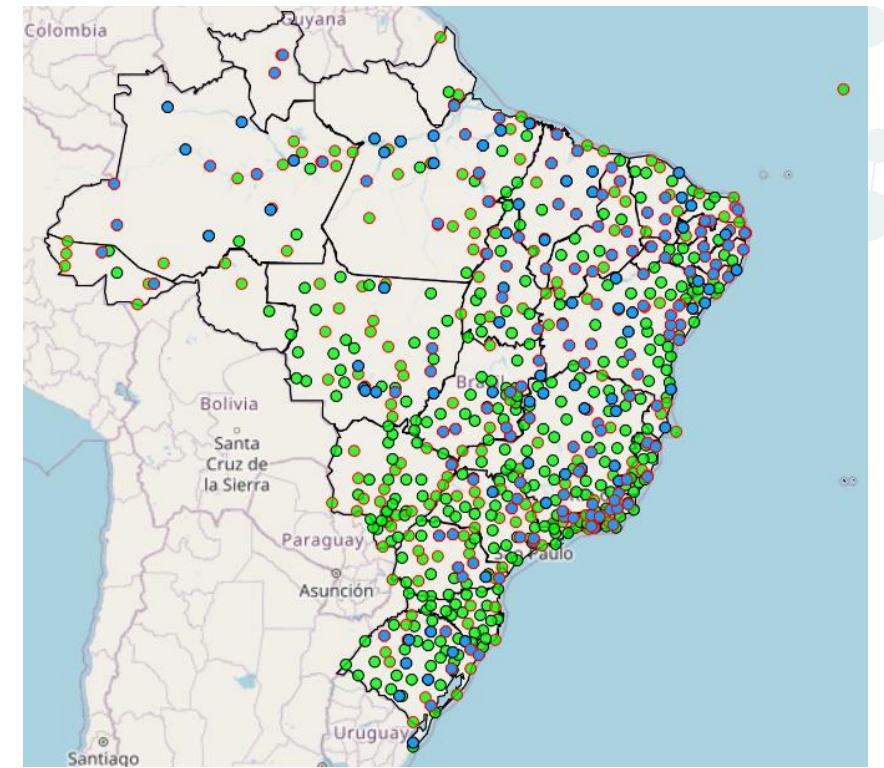
$$FC_{GWA} = \frac{V_{m\acute{e}dia(50m)_{GWA \rightarrow Usina}}}{\sum \frac{V(50m)_{MERRA2 \rightarrow GWA}}{n}}$$

$$V_{ext\_GWA} = V_{ext} \cdot FC_{GWA}$$

# Metodologia

- Correção do Viés:

- Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET): Disponibiliza séries horárias de velocidade de vento para medidas nas estações.



LEGENDA :

- Pontos do MERRA-2
- Túrbina Eólica
- Pontos do INMET

# Metodologia

- Correção do Viés:

- Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET).

$$FC_{INMET} = \frac{\sum \frac{V(10m)_{INMET \rightarrow Usina}}{n}}{\sum \frac{V(10m)_{MERRA2 \rightarrow INMET}}{n}}$$

$$V_{ext\_INMET} = V_{ext} \cdot FC_{INMET}$$

- Geral (FC<sub>INMET</sub>-G): Um único fator para ser aplicado em toda a série de velocidade de vento extrapolada do MERRA-2 que representa a turbinada em questão.
- Mensal (FC<sub>INMET</sub>-M): 12 fatores, um para cada mês, a serem aplicados cada um na parte da série extrapolada do seu respectivo mês.
- Horário (FC<sub>INMET</sub>-H): 24 fatores, um para cada hora, a serem aplicados cada uma na parte da série extrapolada da sua respectiva hora.
- Mensal e Horário (FC<sub>INMET</sub>-M/H): 288 fatores, um para cada mês/hora, a serem aplicados cada um na parte da série extrapolada do seu respectivo mês/hora.

# Metodologia

- Avaliação:

- Comparação das séries do MERRA-2 corrigidas com os históricos das turbinas;

- Uso de 6 métricas:

- Correlação de Pearson;
    - Raiz do erro quadrático médio (RMSE);
    - Erro de polarização médio (MBE);
    - Erro médio absoluto (MAE);
    - Diferença entre as médias das séries (Dif. médias);
    - Diferença entre as variâncias das séries (Dif. variâncias).

$$\text{Correlação} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2][\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}}$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - y_i)^2}{n}}$$

$$\text{MBE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)$$

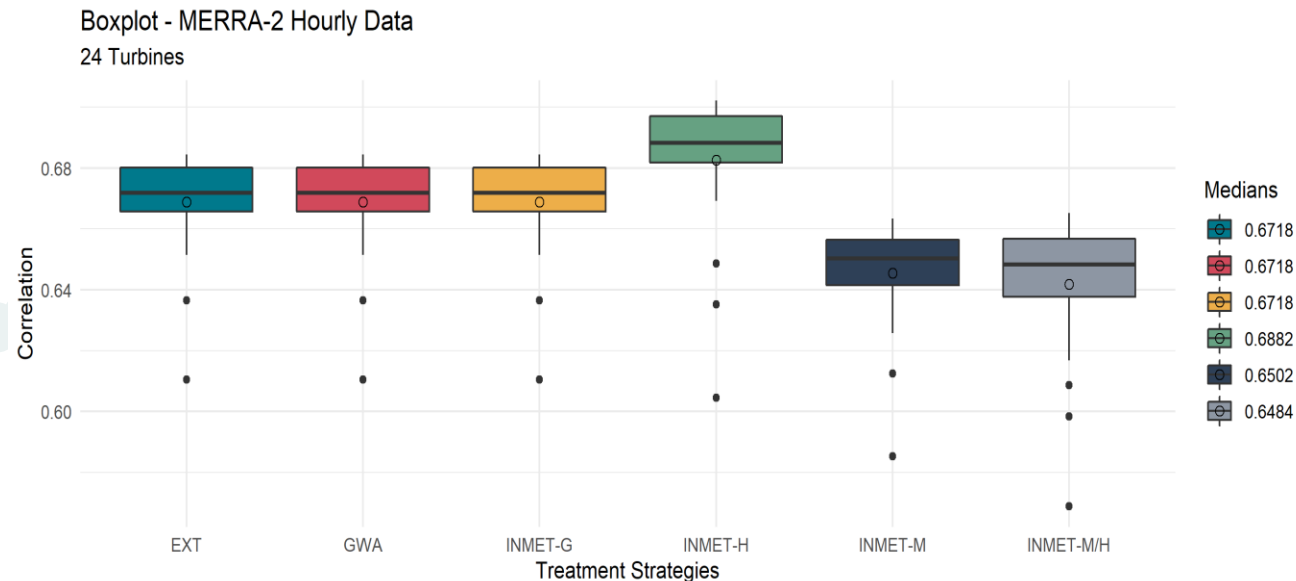
$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|$$

$$\text{Dif. média} = \bar{x} - \bar{y}$$

$$\text{Dif. variância} = \sigma_x^2 - \sigma_y^2$$

# Resultados

- Localidades em Estudo:
  - Dois Parques Eólicos do estado da Bahia, tendo cada 12 turbinas eólicas;
  - 24 séries temporais horárias de velocidade de vento referente ao ano de 2017.
- Resultados Horários:
  - Comparação das 24 séries medidas com suas respectivas séries do MERRA-2 tratadas.
  - Correlação:



# Resultados

- Resultados Horários:

- Os Gráficos com Boxplots por estratégia de tratamento foi realizada para todas as métricas e suas medianas foram registrados na Tabela abaixo;
- O tratamento INMET-H apresentou melhores desempenhos e o GWA os piores;
- Em segundo ficou o tratamento EXT;

<i>Estratégias</i>	<i>Métricas</i>					
	<i>Correlação</i>	<i>RMSE</i>	<i>MBE</i>	<i>MAE</i>	<i>Dif. Médias</i>	<i>Dif. Var.</i>
EXT	0,6718	2,3660	<b>0,5584</b>	1,8626	<b>0,5677</b>	1,8679
GWA	0,6718	<b>3,0417</b>	<b>-1,5722</b>	<b>2,5145</b>	<b>-1,5353</b>	-1,7727
INMET-G	0,6718	2,3778	0,6303	1,8573	0,6394	2,0006
INMET-M	0,6502	2,4440	0,6157	1,9212	0,6251	<b>2,0599</b>
INMET-H	<b>0,6882</b>	<b>2,3203</b>	0,5834	<b>1,8330</b>	0,5921	1,5453
INMET-M/H	<b>0,6484</b>	2,4723	0,5949	1,9533	0,6037	<b>1,3321</b>



# Conclusões

- As séries de velocidade do vento do MERRA-2 corrigidas se mostraram representativas para as localidades em estudo, sendo a estratégia INMET-H a mais recomendada para estudos horários.
- Os bons resultados por todas séries do MERRA-2 corrigida se deve também a eficácia das metodologias adotadas nas etapas de interpolação e extrapolação.
- Com relação a etapa de correção de viés, destaca-se o uso de base locais e com dados medidos para alcançar melhores correções.
- A estratégia de tratamento GWA foi a que apresentou os piores resultados, apesar de outros estudos recomendarem esta abordagem. Mesmo o GWA sendo a estratégia menos indicada, suas séries corrigidas ainda eram representativas em relação as séries medidas nos parques eólicos da Bahia.

# Conclusões

- De modo geral, o trabalho contribui para literatura:
  - Com um estudo focado na representatividade de séries de turbinas e parques eólicos;
  - Fornecendo novas abordagens de correção de viés (geral, mensal, horário e mensal/horário);
  - Analisou o impacto da escala temporal e espacial sob os resultados;
  - Dimensionou de forma mais realista a qualidade das séries do MERRA-2 através da comparação de séries de velocidade de vento, assim permite também verificar o que seria a variabilidade natural do processo e erro do modelo.
- Estudos Futuros:
  - Continuidade na busca de melhores abordagens de correção de viés;
  - Aplicação da metodologia em mais localidades do Brasil;
  - Uso de outras bases de reanálise, como ERA5;
  - Complementação das análises dos impactos através do confronto das gerações medidas e gerações simuladas a partir das séries de velocidade do vento do MERRA-2 corrigidas.

# Principais Referências

- I. González-Aparicio *et al.*, “Simulating European wind power generation applying statistical downscaling to reanalysis data,” *Appl. Energy*, vol. 199, pp. 155–168, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.04.066.
- K. Gruber, C. Klöckl, P. Regner, J. Baumgartner, and J. Schmidt, “Assessing the Global Wind Atlas and local measurements for bias correction of wind power generation simulated from MERRA-2 in Brazil,” *Energy*, vol. 189, pp. 1–13, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.116212.
- R. Gelaro *et al.*, “The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2),” *J. Clim.*, vol. 30, no. 14, pp. 5419–5454, 2017, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0758.1.
- K. L. Nefabas, L. Söder, M. Mamo, and J. Olauson, “Modeling of ethiopian wind power production using era5 reanalysis data,” *Energies*, vol. 14, no. 9, pp. 1–17, 2021, doi: 10.3390/en14092573.
- I. Staffell and S. Pfenninger, “Using bias-corrected reanalysis to simulate current and future wind power output,” *Energy*, vol. 114, pp. 1224–1239, 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.08.068.
- K. Gruber, P. Regner, S. Wehrle, M. Zeyringer, and J. Schmidt, “Towards global validation of wind power simulations: A multi-country assessment of wind power simulation from MERRA-2 and ERA-5 reanalyses bias-corrected with the Global Wind Atlas,” *Energy*, p. 121520, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.121520.
- J. Olauson, “ERA5: The new champion of wind power modelling?,” *Renew. Energy*, vol. 126, pp. 322–331, 2018, doi: 10.1016/j.renene.2018.03.056.



Obrigado !!!



[saulocustodio@tecgraf.puc-rio.br](mailto:saulocustodio@tecgraf.puc-rio.br)