

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

ANÁLISE DO POTENCIAL EÓLICO PARA CIDADES NO ESTADO DO MARANHÃO

Thales Nunes Martins de Sá, DCAC-UFRN, thales553@gmail.com
Israel Walter Hilário da Silva, PPGCC-UFRN
Itauan Dayvison Gomes de Medeiros, DCAC-UFRN
Maria de Fátima Nogueira Ferreira, DCAC-UFRN
Edival Araújo, DCAC-UFRN
Gustavo Silva Xavier, DCAC-UFRN
Gabriel Victor Silva do Nascimento, PPGCC-UFRN
Cláudio Moisés Santos e Silva, DCAC-UFRN

Resumo

Este estudo tem como objetivo avaliar o potencial de implantação de parques eólicos no estado do Maranhão, uma região carente de pesquisas nessa área. Utilizando dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e comparando-os com dados de reanálise do ERA5, a pesquisa busca entender a viabilidade da geração de energia eólica na região. O contexto global de crescimento das energias renováveis devido às preocupações ambientais e limitações dos combustíveis fósseis torna esse estudo relevante, especialmente no Brasil, que tem visto um aumento significativo de parques eólicos e usinas solares ao longo da costa. A energia eólica é considerada uma alternativa limpa e renovável, apesar dos desafios das mudanças climáticas. O estudo ressalta a importância do planejamento energético para aproveitar o potencial dos ventos no Brasil, destacando a região nordeste, especialmente a costa, como uma área de destaque para a energia eólica.

Palavras-chave: Energias Renováveis, Sustentabilidade, ERA5.

Abstract

This study aims to evaluate the potential for implementing wind farms in the state of Maranhão, a region lacking research in this area. Using data from the National Institute of Meteorology (INMET) and comparing them with reanalysis data from ERA5, the research makes it possible to understand the viability of wind energy generation in the region. The global context of growth in renewable energy due to environmental concerns and limitations of fossil fuels makes this study relevant, especially in Brazil, which has seen significant increases in wind farms and solar plants along the coast. Wind energy is considered a clean and renewable alternative, becoming a competitive alternative with other energy sources that enhance climate change. The study highlights the importance of energy planning to take



advantage of the potential of winds in Brazil, highlighting the northeast region, especially the coast, as a prominent area for wind energy.

KeyWords: Renewable Energy, Sustainability, ERA5.

1. Introdução

Nos últimos anos, as energias renováveis têm ganhado muita relevância, devido ao impacto dos combustíveis fósseis sobre o meio ambiente como também as preocupações relacionadas aos recursos limitados associados a este tipo de fonte. A partir deste leque o mercado vem tomando outra direção, buscando outras fontes que possam suprir as necessidades atuais e futuras.

O Brasil, devido sua localização privilegiada, tem avançado bastante nesse segmento de energias renováveis, com crescente número de parques eólicos e usinas solares, abrangendo uma boa parte da região litorânea do país. A expectativa é que o número de empreendimentos aumente cada vez mais nos próximos anos, tornando a matriz energética nacional quase que completamente composta por fontes renováveis.

A energia eólica é uma das grandes alternativas, quando se trata de transição energética. O fato de ser uma energia considerada mais limpa e renovável, algo que cada vez é mais exigido no mercado de energias, tem atraído inúmeros investimentos neste setor, mesmo com o potencial impacto das mudanças climáticas, apontado em estudos mas, com projeção para geração de energia bastante elevado, como indicado por Viviescas *et al.* (2019), onde se espera um aumento na velocidade do vento a partir de 2040, para os países da América latina, incluindo o Brasil.

Deste modo, um planejamento energético é fundamental para que se possa aproveitar todo o potencial dos ventos no Brasil, e o primeiro passo para este planejamento é a realização de estudos visando compreender quais regiões são mais propícias à implantação de parques eólicos.

Observando o panorama brasileiro, a região que mais se destaca, em termos de potencial eólico, é a região nordeste, em especial a parte costeira, apresentando ventos intensos quase o ano todo. Diversos estudos mostraram o potencial eólico no nordeste, Oliveira (2007) em estudo para o estado do Ceará, mostrou que em anos de El Niño e dipolo positivo do Atlântico há um aumento na intensidade do vento, já Lima *et al.* (2013) apontou em estudo para o estado do Maranhão, que os ventos alísios são importantes na geração de ventos intensos na região. Isso explica o porquê a região nordeste ter se tornado um grande pólo de energia eólica.

Em virtude da dificuldade de dados, escolhemos os municípios de Bacabal, Balsas, Imperatriz e Turiaçu para identificar quais áreas possuem maior potencial de vento para que

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

seja implantado o parque. Através de equações matemáticas converter está variável (vento), em uma métrica para definir o potencial de geração de energia eólica. O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre a velocidade do vento para uma possível implantação de Parques Eólicos. A região escolhida foi o estado do Maranhão, tendo em vista a carência de pesquisas nessa área. Neste trabalho também analisamos a qualidade dos dados de reanálise para esta região, verificando se estes dados condizem com a realidade que é observada, e qual diferença, entre os dados observados, quando se converte a velocidade do vento em potencial eólico. Os dados usados foram obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e comparados aos dados de reanálise do ERA5.

2. Fundamentação teórica

Por mais importantes que sejam os estudos sobre potencial eólico, nem sempre é uma tarefa simples encontrar dados observados, dependendo da região da qual se pretende estudar, com isso buscar alternativas muitas vezes se faz necessário (XAVIER, 2020). Uma das formas mais utilizadas é a obtenção de dados de reanálise, na qual séries de dados históricos são reconstruídos através de modelos matemáticos e dados observados, desta forma é possível obter dados para vários pontos ao redor do planeta para períodos muito anteriores (OLIVEIRA-COSTA, 2022). Entretanto, dados de reanálise nem sempre apresentam resultados que condizem com a realidade, o modelo matemático, por exemplo, pode representar bem as características de uma determinada região, mas pode não captar aspectos importantes de outra, assim apresentando resultados que não são esperados (GUEDES et al., 2005); (CASTRO et al., 2019). Sendo assim, a validação desses dados é muito importante para que o estudo produza resultados com credibilidade. Braga *et al.* (2021) em estudo para o Rio de Janeiro, mostrou que apesar dos dados de reanálise do ERA5 representar bem a sazonalidade do vento na região, houve uma superestimação dos valores da velocidade do vento, que por sua vez impactaram bastante no cálculo da densidade de potência.

O estado do Maranhão, apesar de estar localizado em uma região favorável a implantação de parques eólicos, a quantidade de empreendimentos neste setor, se comparado com outros estados do nordeste, como o Rio Grande do Norte e a Bahia, ainda é pequeno. Rodrigues *et al.* (2020) fez um zoneamento da velocidade do vento para o estado, concluindo que a região norte do estado, por apresentar valores de velocidade do vento mais elevados, têm condições mais favoráveis à implantação de parques eólicos, contudo, como afirmado no trabalho, ainda há necessidades de realização de mais estudos para entender e zonear de forma mais precisa as áreas com potencial eólico no estado do Maranhão. Diante desta necessidade apresentaremos nossas pesquisas para os quatros municípios escolhidos.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

Bacabal está localizada a cerca de 260 km da capital São Luís, com população estimada em torno de 102.265 habitantes, clima tropical com um período chuvoso de janeiro a junho. Sua economia é baseada em produtos e serviços sendo considerada como um centro econômico regional. No setor agrícola destaca-se a produção do arroz, feijão, milho e farinha de mandioca sendo também uma grande produtora de gado bovino.

O município de Balsas, surgiu por ser um ponto de melhor acesso às fazendas do município de Riachão, antes do surgimento das primeiras casas a existência do Porto das Caraíbas, no rio Balsas, com seu movimento de viajantes foi o despertar para o surgimento das primeiras moradias. Segundo o IBGE sua população referente ao censo de 2022 é de 101.616 habitantes e densidade demográfica 7,73 habitantes por quilômetros quadrados. O município é o maior produtor de soja do estado, com agricultura mecanizada e automatizada, faz parte da região conhecida como MATOPIBA. De acordo com a classificação de Koppen, apresenta clima Aw (tropical chuvoso), onde os meses de dezembro a março são os mais chuvosos.

Considerada a segunda maior cidade do Estado do Maranhão, com população de 259.980 habitantes em 2021 (IBGE), o município de Imperatriz está localizado às margens do Rio Tocantins e distante da capital a 629,5 km. Na agricultura destaca-se a produção de arroz, seu desenvolvimento econômico ocorre, por Imperatriz está num cruzamento entre a soja de Balsas no sul do Maranhão, a extração de madeira na fronteira com o Pará, a siderurgia em Açailândia e a agricultura familiar no resto do estado, as potencialidades como a produção de energia e celulose com a implantação da Hidrelétrica de Estreito, e da fábrica da Suzano Papel e Celulose em Imperatriz, como também intensa atividade extrativista, principalmente na reserva de Ciríaco. Clima tropical subúmido típico do Brasil central, com chuvas distribuídas nos primeiros e últimos meses do ano, sendo março o mês mais chuvoso e julho o mais seco.

Turiaçu está situada a uma distância de 230 Km (Via Ferry Boat) e 460 Km (Via MA/BR) da capital do estado, sua população está estimada em 35.604 habitantes de acordo com o último Censo e possui densidade demográfica de 13,8 habitantes por Km².

3. Metodologia

O estudo foi realizado a partir dos bancos de dados do INMET da variável vento a 10 metros de altura para ser extrapolado a 100 metros e do ERA5 da variável vento a 100 metros de altura, coletados a cada 60 minutos de 2012 até 2022 para quatro cidades do estado do



Maranhão (Figura 1) encontrados na tabela 1. Foi utilizado o programa R para a análise estatística.

Figura 1: Localização do estado do Maranhão



Cidades	Bioma	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Temperatura Média (°C)	Velocidade Média do Vento (m/s)
Bacabal/MA	Amazônia	-4.24	-44.794	22.33	27.9	1.02
Balsas/MA	Cerrado	-7.45	-46.02	271.03	27.8	1.04
Imperatriz/MA	Amazônia /Cerrado	-5.55	-47.45	117.96	26.8	0.74
Turiaçu/MA	Amazônia	-1.66	-45.37	35.86	25	2.08

Tabela 1:

Segundo Manwell *et al.* (2010), a potência de uma turbina eólica varia com a velocidade do vento e cada turbina eólica tem uma curva característica de desempenho de energia. Com essa curva é possível prever a produção de energia de uma turbina eólica, sem considerar os detalhes técnicos de seus vários componentes. Assim, a curva de potência de uma turbina eólica é um gráfico que indica a produção máxima de energia elétrica em diferentes velocidades do vento. Para extrapolar o vento medido à superfície usamos o método sugerido por Manwell *et al.* (2010), que consiste na velocidade do vento medida em um nível, usamos 10m, e uma estimativa do comprimento de rugosidade característico da região. Extrapolamos para 100m por ser a altura da turbina, objeto de nossa pesquisa.

$$U(z) = U(z_r) \frac{\ln\left(\frac{z}{z_o}\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_o}\right)} \quad (1)$$

onde, $U(z)$ o vento na altura desejada ; $U(z_r)$ o vento na altura de referência que foi medido e Z_o o comprimento de rugosidade

A densidade de potência do vento que significa um indicador da produção energética e a potência disponível por unidade de área (W/M^2), foi obtida através da equação

$$PD = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (2)$$

PD a densidade $dV = U(z_r)$; ρ é a densidade do ar, consideramos constante e igual a 1.225 kg/m^3

A potência que a turbina poderá extrair do vento dependerá da velocidade que o vento exerce dentro do mecanismo. Para o cálculo da potência de saída para cada turbina usamos a fórmula

$$Pt = Cp \times Ar \times Pd \quad (3)$$

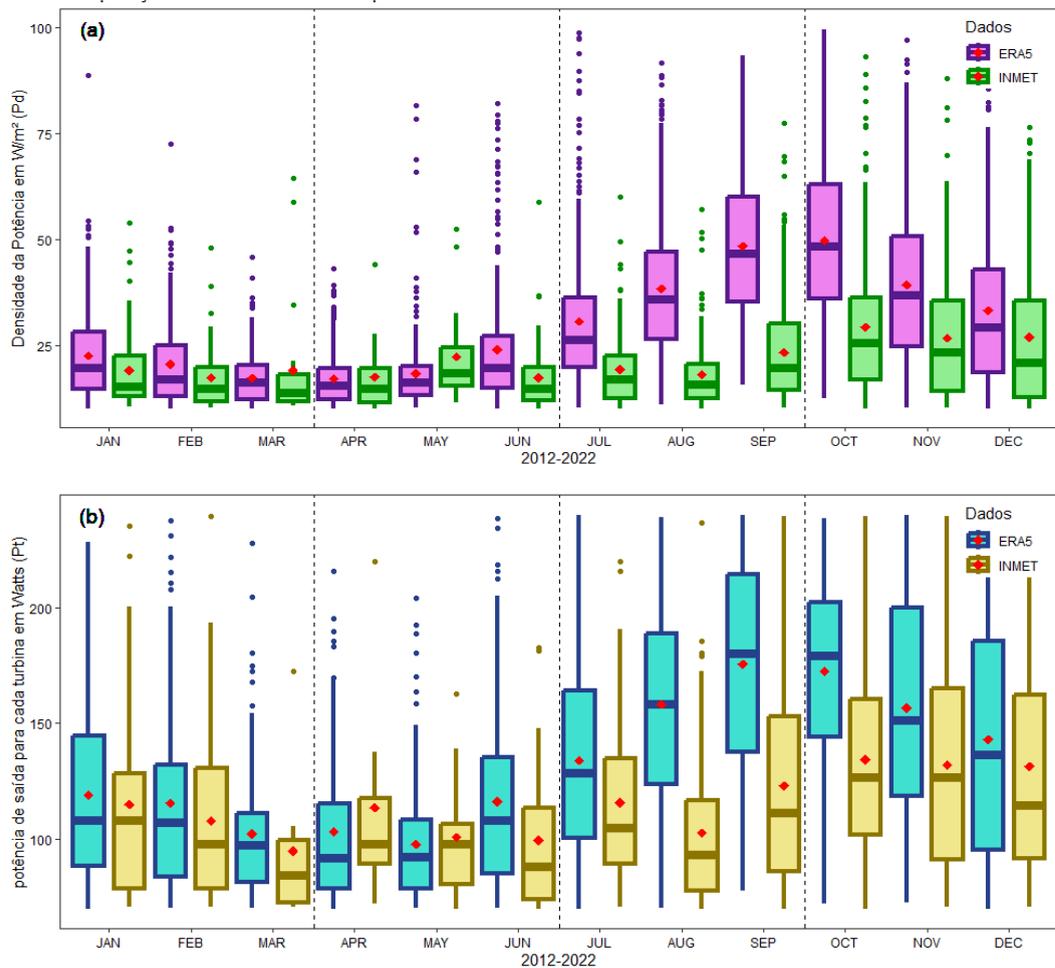
onde, Pt – potência da turbina (W); Cp – coeficiente de conversão mecânica e elétrica;(tipicamente $Pt=0,40$); Ar – área de varredura da turbina (m^2); $Ar = 12,462 \text{ m}^2$; Pd – densidade de potência da turbina.



4. Resultados

As figuras referentes à cidade de Bacabal mostram um aumento dos ventos nos meses de Julho a Dezembro, período onde tem terminado a temporada de chuvas da região. Comparando os dados do Inmet com o ERA5, ambos mostram o mesmo aumento de vento nos meses citados. Através dos dados obtidos por meio do ERA5 observamos uma maior geração de energia (figura b), com valores chegando a mais de 200 Watts no mês de setembro, valores correspondentes aos anos de 2012 a 2022.

Figura 2: (a) Comparação dos Bancos de Dados por Mês (PD) - Bacabal/MA (b) Comparação dos Bancos de Dados por Mês (PT) - Bacabal/MA



PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

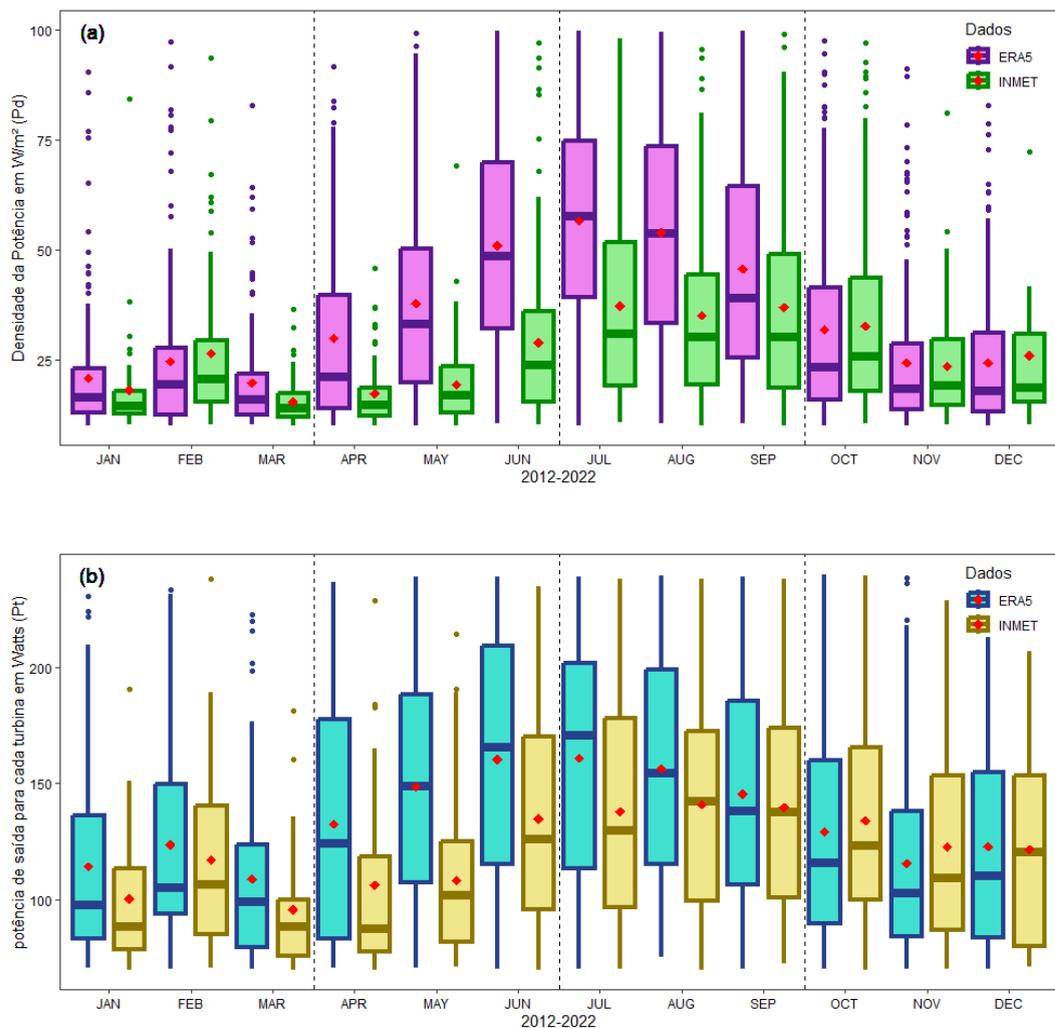
WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

Balsas apresenta uma maior constância de ventos com relação a Bacabal, diminuindo nos meses de Dezembro a março que coincide com o período mais chuvoso da região. Os dados do ERA5 conforme as figuras apresentadas mostram maior potencial energético comparados aos dados do Inmet.

Figura 3: (a) Comparação dos Bancos de Dados por Mês (PD) - Balsas/MA (b) Comparação dos Bancos de Dados por Mês (PT) - Balsas/MA

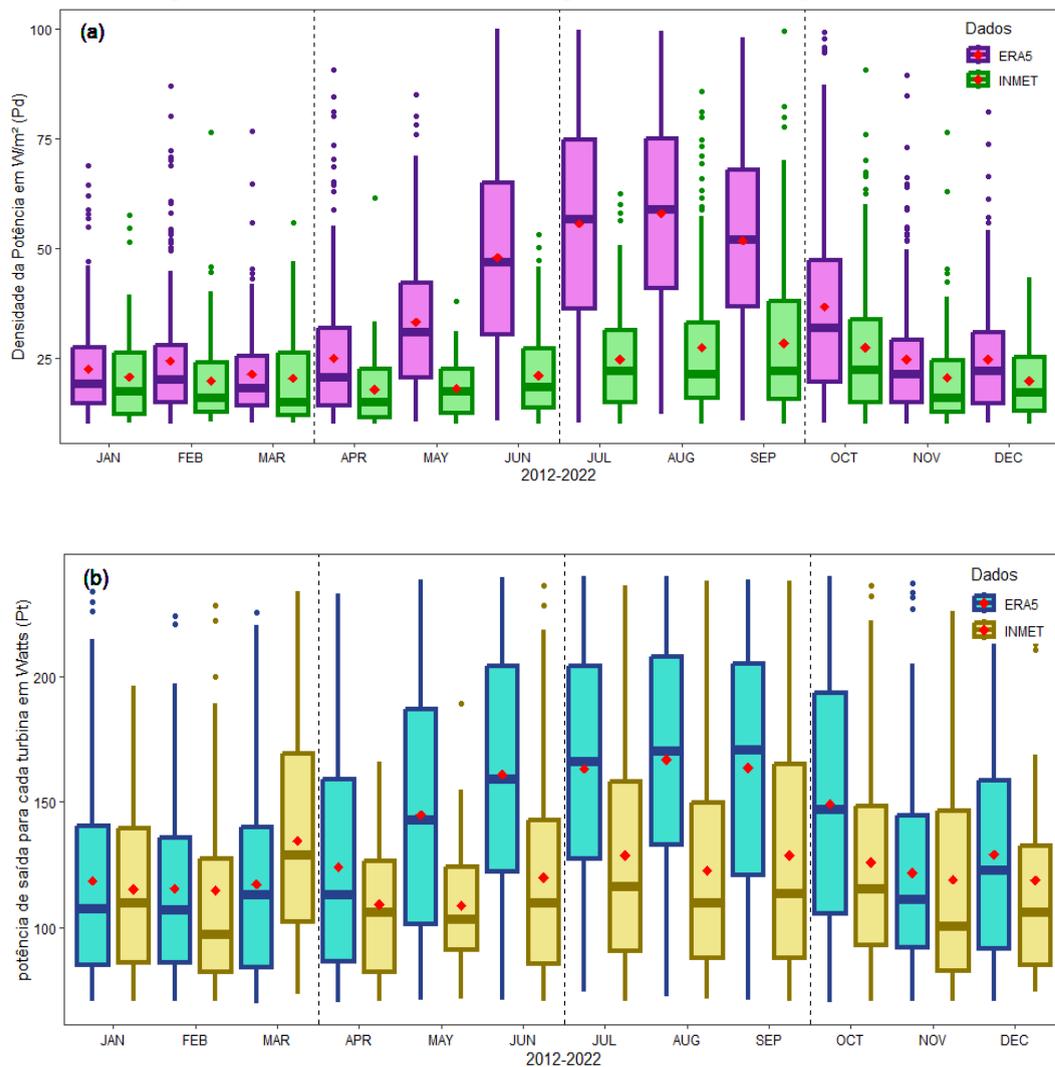


Os gráficos referentes à cidade de Imperatriz mostram uma sazonalidade bem marcada, no mês de maio a potência fica em torno de 190 Watts, tendo um aumento nos três



meses seguidos, voltando a diminuir no mês de outubro com percentuais bem próximos a maio. O modelo coincide com a característica da chuva na região, ocorrida nos primeiros e últimos meses do ano.

Figura 4: (a) Comparação dos Bancos de Dados por Mês (PD) - Imperatriz/MA (b) Comparação dos Bancos de Dados por Mês (PT) - Imperatriz/MA



O município de Turiaçu apresenta gráficos com escala diferenciada dos demais, visto o elevado potencial do vento na região. Analisando os dados do ERA5 o mês com menor índice

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

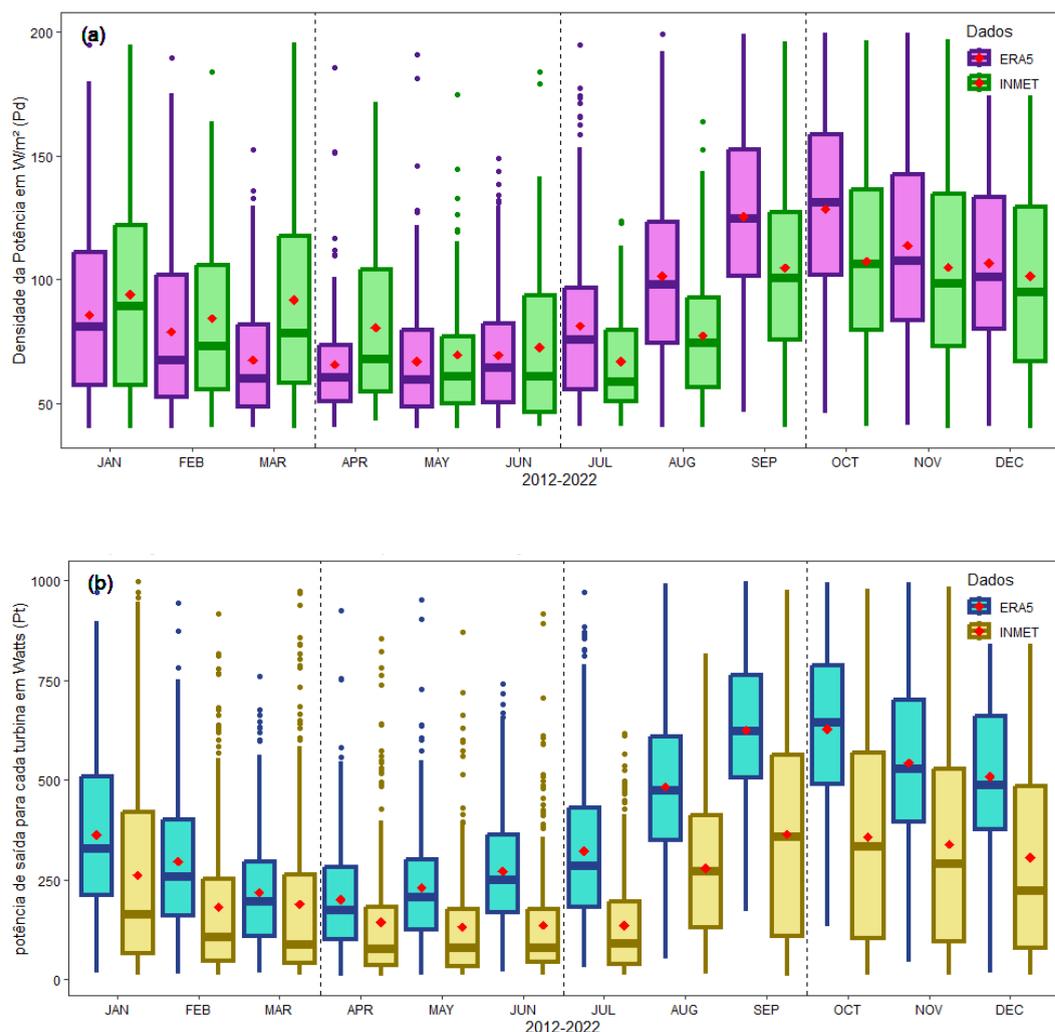
WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

já mostra um percentual acima de 200 watts de potência enquanto os meses de setembro e outubro com maior percentual de energia gerada fica em torno de 750 watts. Os dados do INMET, mesmo apresentando diferenças menores com relação ao ERA5, ainda ficam acima das outras regiões. Estudos apontam o norte do estado do Maranhão com maior percentual de vento, exatamente onde está localizada a cidade de Turiaçu.

Figura 5: (a) Comparação dos Bancos de Dados por Mês (PD) - Turiaçu/MA (b) Comparação dos Bancos de Dados por Mês (PT) - Turiaçu/MA



PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS






22/11

23/11

24/11

evento

100% online

e gratuito

Figura 6: Comparação das Médias Anuais do PD

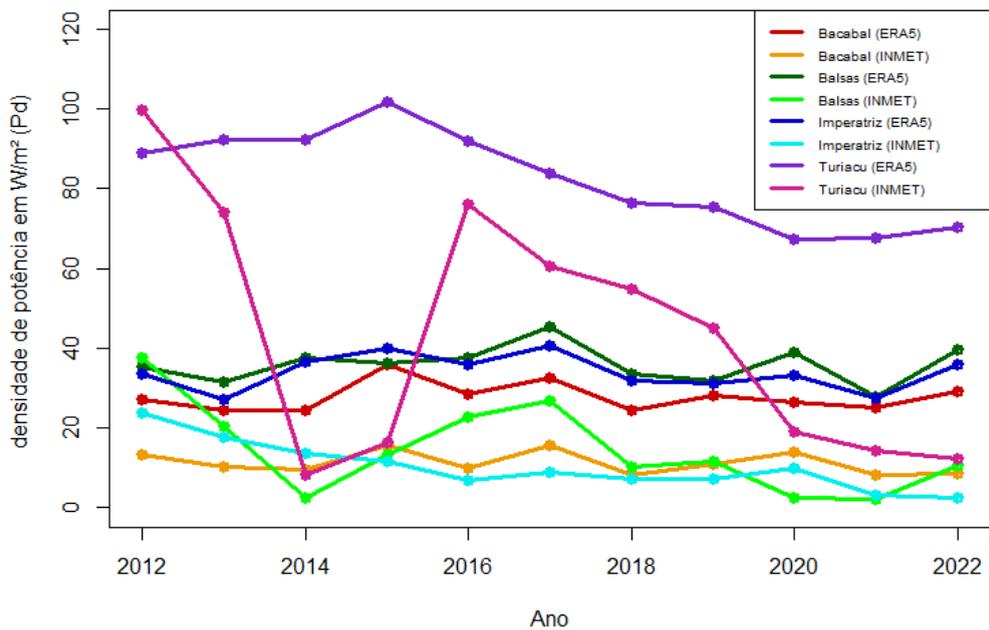
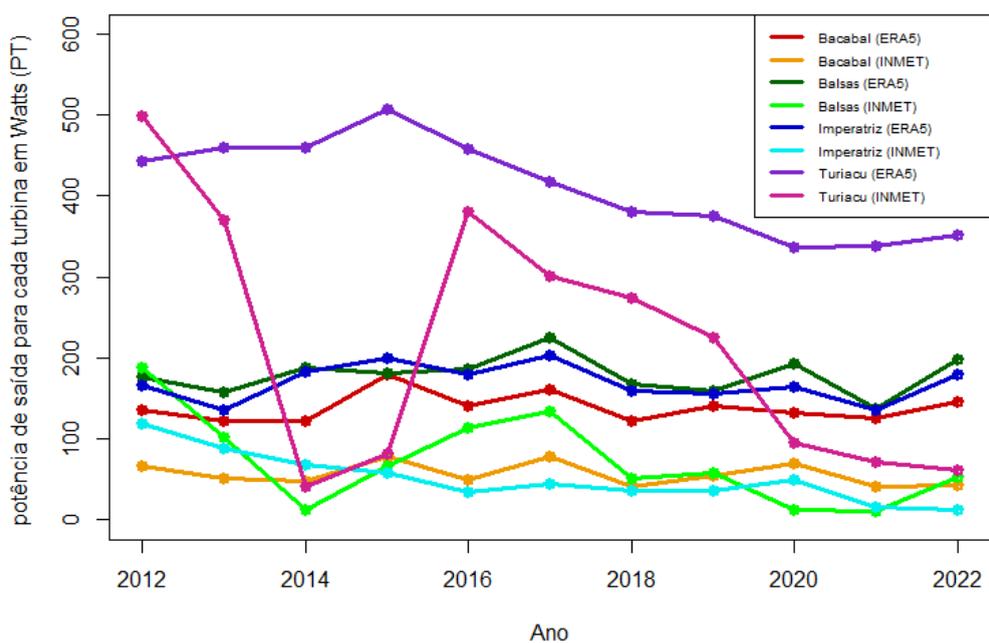


Figura 7: Comparação das Médias Anuais de PT



PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

Figura 8: Correlação de PD em Relação a Turiaçu/MA (INMET)

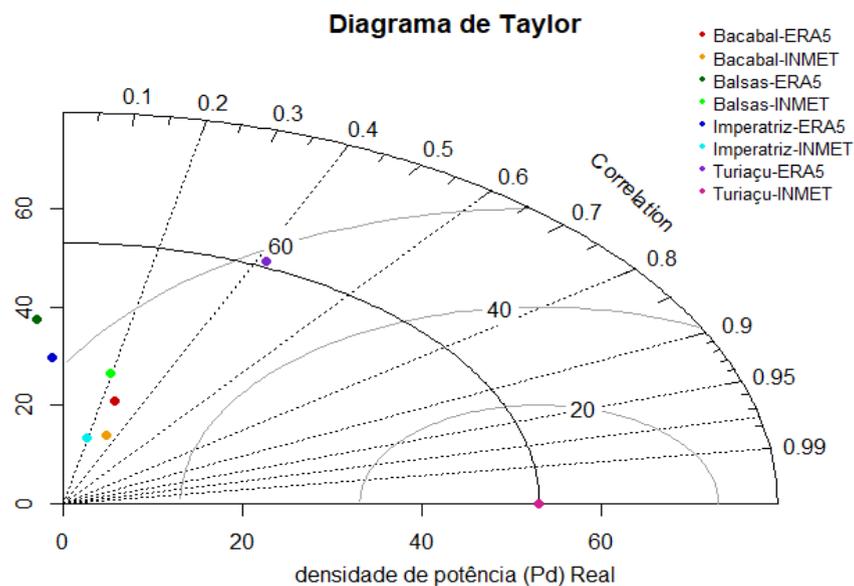
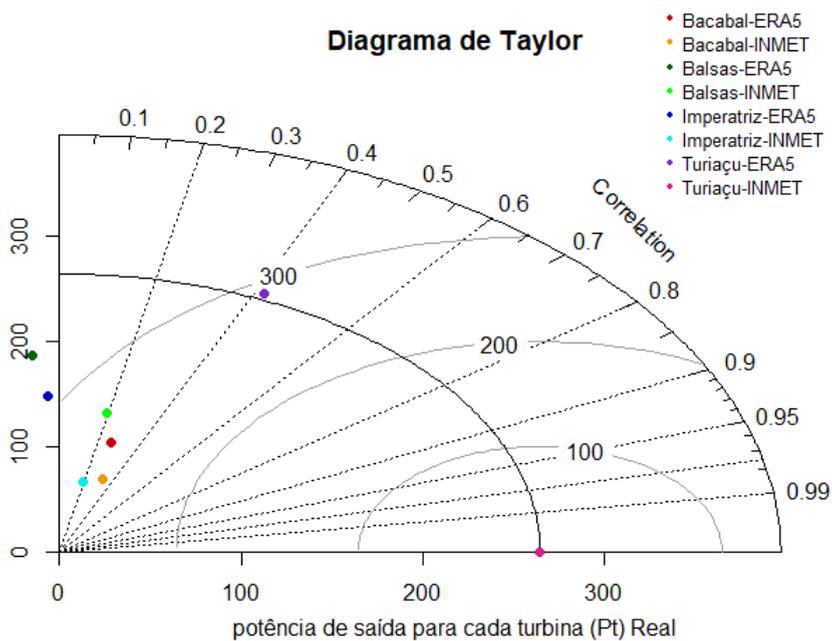


Figura 9: Correlação de PT em Relação a Turiaçu/MA (INMET)





Observando por este gráfico, tanto para os dados do ERA5, quanto para os dados do INMET, nas duas situações do Pd e Pt, a cidade de Turiaçu destaca-se nos quesitos de correlação, desvio padrão e nos erros residuais.

5. Conclusões

A viabilidade para se instalar uma turbina eólica, os ventos médios na região precisam ser de pelo menos 2,7 m/s (aproximadamente 10 km/h) para com isso a potência de saída da turbina (pt) ser de no mínimo 400 W.

Diante os cenários, dentre as 4 cidades pesquisadas, de acordo com os resultados, a melhor localidade para implantação do parque eólico, é indicada a cidade de Turiaçu, localizada no norte do Maranhão. Ficou bem claro que os dados do Era5 em todas as localidades tiveram valores maiores que os dados obtidos pelo Inmet.

Referências

BRAGA, R. A. H. W.; SANTOS, E. B.; BARROS, M. F. DE. Validação de dados de vento da reanálise ERA5-LAND para estimativa de potencial eólico no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Energia**, v. 27, n. 4, 8 out. 2021.

CASTRO, Bruno Vinicius de Oliveira. Avaliação de parâmetros meteorológicos gerados pela reanálise ERA 5 para a cidade de Seropédica, região da Baixada Fluminense-RJ. *Revista Engenharia, Meio Ambiente e Inovação*, [S.L.], v. 02, n. 01, p. 7-15, jan. 2019.

GUEDES, Roberto Lage et al. SÉRIE TEMPORAL DE PRECIPITAÇÃO MENSAL DE FORTALEZA, BRASIL: COMPARAÇÃO ENTRE OBSERVAÇÕES E DADOS DE REANÁLISE DO NCEP/NCAR. *Revista Brasileira de Meteorologia*, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 83-92, 2005.

HERSBACH, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J-N. (2023): ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. **Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)**, DOI: 10.24381/cds.adbb2d47 (Acesso em: 25/09-2023)



LIMA, M. M. et al. O potencial das fontes renováveis de energia elétrica no Maranhão. Research, **Society and Development**, v. 12, n. 7, p. e18112742690–e18112742690, 1 ago. 2023.

MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. **Wind energy explained: theory, design and application**. John Wiley & Sons, 2010.

OLIVEIRA, J. L. **Influência da circulação geral e da variabilidade interanual sobre o potencial eólico do Nordeste Brasileiro**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas) Universidade Estadual do Ceará, 2007.

OLIVEIRA-COSTA, J. L. P.; ZACHARIAS, A. A.; PANCHER, A. M. Métodos e técnicas no estudo da dinâmica da paisagem física nos países da CPLP-Comunidade dos Países de Expressão Portuguesa. **Málaga, Espanha: EUMED .NET. biodiversity for sustainable development. Journal of Science Teacher Education**, v. 6, p. 549-571, 2022.

RODRIGUES, L. H. S. et al. **ZONEAMENTO DA VELOCIDADE DO VENTO NO ESTADO DO MARANHÃO UTILIZANDO DADOS DA BASE CLIMÁTICA GLOBAL GLDAS**. Disponível em:

<<https://proceedings.science/sbsr-2019/trabalhos/zoneamento-da-velocidade-do-vento-no-estado-do-maranhao-utilizando-dados-da-base?lang=pt-br>>. Acesso em: 6 out. 2023.

VIVIESCAS, C. et al. Contribution of Variable Renewable Energy to increase energy security in Latin America: Complementarity and climate change impacts on wind and solar resources. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 113, p. 109232, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.039>

XAVIER, T.; GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C. Energia Eólica Offshore e Pesca Artesanal: impactos e desafios na costa oeste do Ceará, Brasil. In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (orgs.) **Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos**. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 608-630. ISBN 978-65-992571-0-0