

Estimativa preliminar do potencial eólico em um ponto turístico na Amazônia oriental

Preliminary Estimation of Wind Potential at a Tourist Site in Eastern Amazon

Lucas Mateus Coelho NunesORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2978-0624>

Universidade do Estado do Pará, Brasil

E-mail: lucasmateusnunes13@gmail.com**Juciene Trindade Amador**ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0190-4962>

Universidade do Estado do Pará, Brasil

E-mail: jucieneamador@gmail.com**Murilo Emanuel Queiroz De Oliveira**ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8970-4038>

Universidade do Estado do Pará, Brasil

E-Mail: muriloqueirozz08@gmail.com**Vitoria De Vasconcelos Monteiro**ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4723-9417>

Universidade do Estado do Pará, Brasil

E-mail: vitoriasvasconcelos946@gmail.com**Marcelo José Raiol Souza**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5998-5041>

Universidade do Estado do Pará, Brasil

E-mail: mraiol@yahoo.com.br**João Rodrigo Coimbra Nobre**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6276-205X>

Universidade do Estado do Pará, Brasil

E-mail: rodrigonobre@hotmail.com.br**Eliane de Castro Coutinho**ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3152-7828>

Universidade do Estado do Pará, Brasil

E-mail: elianerik@gmail.com

RESUMO

A demanda crescente por energia e a necessidade de mitigar os impactos ambientais têm impulsionado a busca por fontes alternativas, destacando-se a energia eólica como uma opção viável e renovável. No entanto, sua variabilidade em relação às condições atmosféricas requer análises específicas, especialmente em regiões com características geográficas distintas, como é o caso do Brasil. Este estudo foca no potencial eólico na zona costeira de Belém, Pará, concentrando-se no Portal da Amazônia. Utilizando anemômetros, foram coletados dados durante sete dias em diferentes horários, com a média semanal de velocidade do vento registrada em 3,54 m/s, resultando em uma estimativa de potência eólica de 1815,65 W. Embora esses resultados indiquem uma viabilidade preliminar para a geração de energia eólica na região, ressalta-se a necessidade de análises mais abrangentes, considerando diferentes alturas de medição, direções de vento e a rugosidade do território. Estes esforços são fundamentais para promover uma transição sustentável para fontes de energia na Amazônia, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e a promoção de práticas energéticas mais limpas e sustentáveis.

Palavras-chave: Fontes renováveis; Energia Eólica; Potencial Eólico.

ABSTRACT

The increasing demand for energy and the imperative to mitigate environmental impacts have driven the quest for alternative sources, with wind energy emerging as a viable renewable option. However, its variability in response to atmospheric conditions necessitates specific analyses, particularly in regions with distinct geographical features, such as Brazil. This study focuses on the wind potential in the coastal zone of Belém, Pará, with a particular emphasis on the Amazon Portal. Utilizing anemometers, data was collected over seven days at various times, with the weekly average wind speed recorded at 3.54 m/s, resulting in an estimated wind power of 1815.65 W. While these findings suggest a preliminary feasibility for wind energy generation in the region, it underscores the need for comprehensive analyses, considering differing measurement heights, wind directions, and terrain roughness. These endeavors are pivotal in fostering a sustainable transition to energy sources in the Amazon, thereby aiding in environmental impact reduction and the promotion of cleaner, sustainable energy practices.

Keywords: Renewable Sources; Wind Energy; Wind Potential.

INTRODUÇÃO

A busca por fontes alternativas de geração de energia vem aumentando a cada ano, pois, existe uma demanda elevada por energia e a necessidade de substituir as fontes de energias não renováveis por fontes renováveis para que seja possível diminuir os impactos ambientais gerados ao utilizar massivamente as energias não renováveis como os combustíveis fósseis (Nunes *et al.*, 2023).

O consumo de energia limpas são de extrema importância para a proteção do meio ambiente e da manutenção da qualidade de vida das pessoas, que está diretamente ligada ao seu consumo de energia, além disso, os combustíveis fósseis são energias finitas e ainda existe uma forte dependência desses recursos (Silva, 2021).

Segundo dados do Balanço Energético Nacional, a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira atingiu 44,7 % em 2021, sendo dividida em utilização da biomassa da cana (16,4%), hidráulica (11,0%), lenha e carvão vegetal (8,7%) e outras fontes renováveis (8,7%) (BRASIL, 2022).

Logo, é possível verificar a potencialidade do Brasil para a geração de energia a partir de fontes renováveis. A energia eólica é uma importante fonte renovável, abundante, limpa e com grande potencial para se expandir no país (BRASIL, 2020).

Porém, é uma fonte de energia variável, ou seja, depende das condições atmosféricas. O Brasil por possuir uma grande faixa territorial, cada região possui condições atmosféricas diferentes entre si. Existe a necessidade de monitoramento da velocidade do vento, para verificar a viabilidade de instalação de aerogeradores e ainda um ambiente aberto, sem interferência de edificações e árvores (ARAÚJO Et Al., 2020).

A energia eólica vem crescendo anualmente no Brasil, mostrando seu potencial em relação às fontes de energia limpa, segundo dados Balanço Energético Nacional (EPE, 2022) a geração eólica teve um crescimento de 26,7% em relação à 2020, consolidando a liderança entre as três fontes (energia de biomassa, energia nuclear e eólica).

Nesse contexto, o trabalho tem como objetivo determinar a distribuição da velocidade do vento, calcular a potência eólica para a instalação de um aerogerador em um ponto turístico localizado na zona costeira em Belém-PA.

METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo

De acordo com França (2018), a cidade de Belém encontra-se na região norte do Brasil, margeada pelo rio Pará, rio Guamá e Baía do Guajará, compondo o conjunto de sete municípios: Belém; Ananindeua; Marituba; Benevides; Santa Bárbara; Santa Isabel e Castanhal, pertencentes a região metropolitana de Belém - RMB.

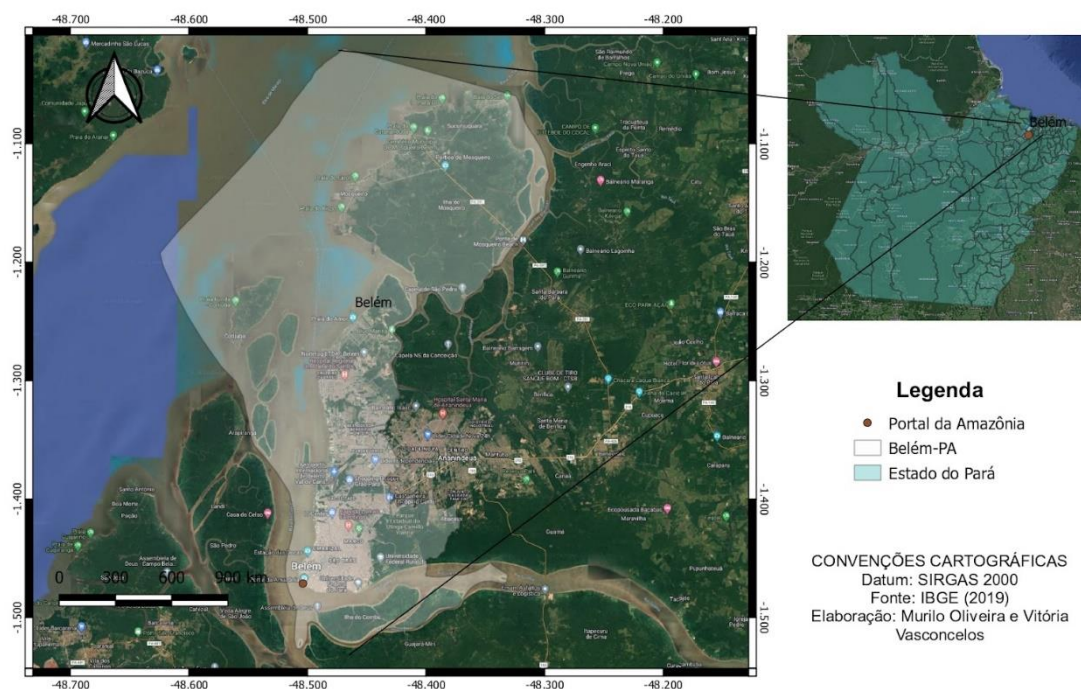
O município de Belém tem como características climáticas a precipitação anual que fica em torno de 2.800 mm, segundo o Relatório Ambiental da Região Metropolitana de Belém (2007) com maior frequência de chuvas no período de janeiro a junho. O clima do município caracteriza-se por ser quente (26,7°C) e úmido (84%) em virtude da sua baixa altitude e latitude (Prefeitura Municipal de Belém - PMB 2007).

O estudo foi realizado no Portal da Amazônia (Figura 1), localizado na cidade de Belém - PA. A orla do Portal da Amazônia constitui-se uma grande intervenção na cidade, realizada pela Prefeitura Municipal de Belém -PMB, em sintonia com ideário de “Janelas para o Rio”, cujo o objetivo principal apresentado no projeto é construir uma grande área de orla urbanizada, que valorize as características locais e possibilite a realização de práticas de lazer, melhoria da qualidade ambiental e de vida dos moradores locais, além da geração de empregos e renda. As suas obras foram iniciadas no ano de 2009 e foi inaugurado parcialmente em 2012 (França, 2018).

O portal da Amazônia fica localizado no bairro do Jurunas, é uma orla bem de frente para o rio Guamá, um espaço de lazer, cultura e interação com a natureza dentro da cidade. A área foi escolhida para a análise pois é um local aberto, com poucas árvores e com grande potencial de ventos fortes.

Figura 1 - Mapa de localização do Portal da Amazônia.

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO PORTAL DA AMAZÔNIA, BELEM-PA



Fonte: Autores, 2022.

Figura 2-Ponto de coleta.

Figura 3 - Anemômetro RZ modeloGM816.



Fonte: Autores, 2022.

Coleta de dados

A coleta de dados ocorreu durante o período de sete dias (01 de setembro a 08 de setembro) e em cada dia foi feita a coleta em três horários diferentes, sendo as 7:00 hs, 12:00 hs e 17:00 hs. Utilizando o anemômetro de bolso (Figura 2), aparelho que é usado para medir a velocidade do vento em um determinado ponto, com altura máxima de 2,4 metros de altura.

Foi escolhido um ponto de coleta na área do portal da Amazônia, perto da margem do rio Guamá, para verificar o potencial de ventos no local. Na maioria dos dias de coleta o tempo estava ensolarado e o céu apresentava poucas nuvens.

Análise estatística e Cálculo de Potência Eólica

Os dados de velocidade do vento coletados foram tratados pelo método estatístico de Rayleigh, para se chegar à velocidade média que foi usada no cálculo de Potência eólica.

A Potência Eólica foi calculada a partir da fórmula:

$$\text{Pot} = \frac{1}{2} \rho * A * V^3$$

Onde:

ρ é a massa específica do ar

A é a área varrida pelo rotor da turbina

V é a velocidade do vento

A área do rotor foi calculada por:

$$A = \pi * r^2$$

Já a potência máxima extraída do vento foi calculada pela fórmula:

$$\text{Pot} = \frac{1}{2} \rho * A * V^3 * C_p$$

Onde:

C_p é o coeficiente de potência do rotor. Este coeficiente é conhecido como Limite de Betz e assume o valor máximo de $C_p = 0,59$.

Como base para o cálculo de potencial eólico, utilizamos um modelo de aerogerador mais conhecido e comercializado, o de eixo horizontal com três pás.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição de Rayleigh é um caso especial da distribuição de Weibull, “o fator de forma, k, [...] assume valores, geralmente, entre 1.5 e 3, [...] caso seja atribuído um valor constante e igual a 2, tem-se então uma variação da distribuição de Weibull chamada distribuição de Rayleigh” (Dalmaz, 2007).

Uma vantagem dessa distribuição é a necessidade de apenas um parâmetro para a sua definição. O seu uso pode ser feito em locais onde se há apenas valores médios de velocidade de vento (Neto; Carvalho, 2012). Segundo Pinto (2013), é utilizada em estudos preliminares, quando se tem pouco conhecimento do regime dos ventos. A distribuição de Rayleigh é dada pela seguinte expressão:

$$f(v) = \frac{\pi v}{2 \bar{v}^2} e^{-\left(\frac{\pi}{4}\right)\left(\frac{v}{\bar{v}}\right)^2}$$

Onde:

v representa a velocidade do vento (m/s);

\bar{v} representa a velocidade média do vento (m/s);

A distribuição de Rayleigh é mais simples de ser utilizada, porém tem limitações, já que utiliza apenas a velocidade média do vento para sua determinação.

A tabela 1 apresenta os valores das velocidades medidas no período de uma semana nos horários de 7 horas, 12 horas e 17 horas. As médias calculadas para cada horário, respectivamente, são 2,73 m/s, 3,61 m/s e 4,29 m/s, e a média geral da velocidade semanal foi 3,54 m/s.

Tabela 1- Medidas das velocidades do vento durante os diferentes horários.

DATA	Velocidade (m/s)		
	7 horas	12 horas	17 horas
01/09/2022	2,2	3,3	4,1
02/09/2022	3,3	3,5	3,3
03/09/2022	2,4	3,1	4,2
04/09/2022	2,6	4,9	4,2
05/09/2022	3,1	4,5	5
06/09/2022	2,8	3,2	6
07/09/2022	2,4	3	2
08/09/2022	3	3,4	5,5
Média	2,73	3,61	4,29
Média geral	3,54		

Fonte: Autores, 2022

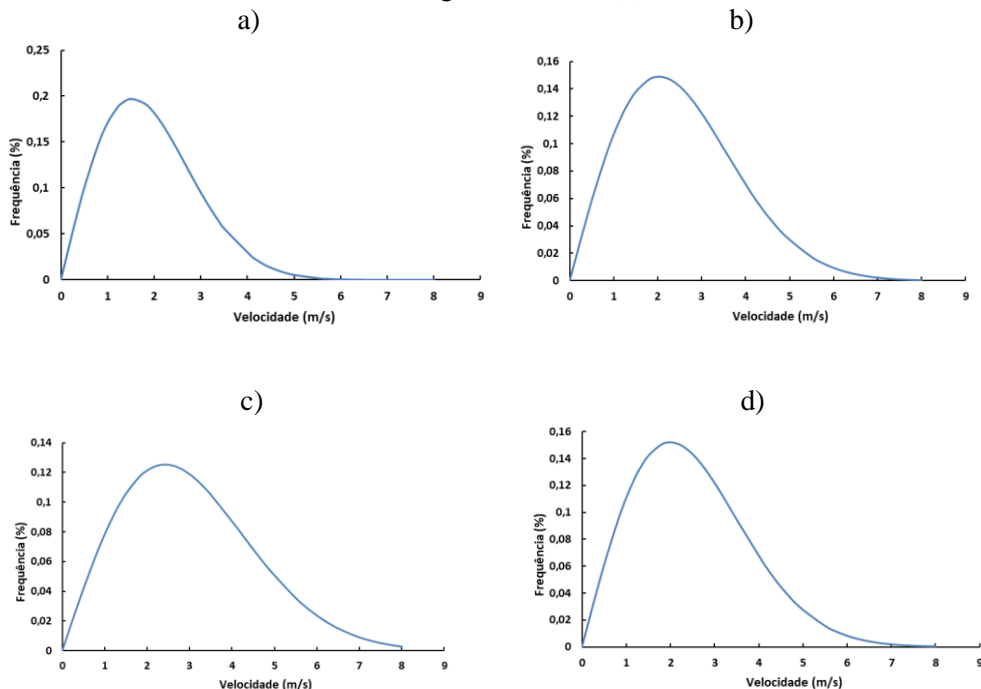
Desse modo, o gráfico 1a mostra a distribuição de velocidade do vento de rayleigh no horário de 7 horas, no qual a faixa de 1,3 a 1,8 m/s são as maiores probabilidade de frequência, apresentando aproximadamente 58% de ocorrência, sendo a velocidade de 1,5 m/s com a maior frequência calculada, totalizando aproximadamente 20%. O gráfico 1b exibe a distribuição de velocidade do vento no horário de 12 horas, no qual a faixa de 1,8 a 2,4 m/s são as maiores probabilidade de frequência, ,aproximadamente 59% de probabilidade de ocorrência, sendo a velocidade de 2,4 m/s com a maior frequência calculada, aproximadamente 15%.

Em relação ao gráfico 1c, apresenta a distribuição de velocidade do vento no horário de 17 horas, em uma faixa de 2 a 2,8 m/s as maiores probabilidade de frequência são aproximadamente 61% de ocorrência, sendo a velocidade de 2,4 m/s com a maior frequência calculada de aproximadamente 12%. O gráfico 1d exprime a distribuição de velocidade do vento utilizando a velocidade média geral semanal. A faixa de maior

probabilidade de ocorrência esteve entre 1,8 a 2,2 m/s, apresentando aproximadamente 45% de ocorrência, sendo a velocidade de 2 m/s com a maior frequência calculada, totalizando aproximadamente 15%.

Sobral e Faccioli (2009) estudaram a avaliação do potencial eólico em uma cidade do Estado de Sergipe, e constataram que as grandes intensidades da velocidade do vento ocorrem no período da tarde, tendo registrado suas maiores velocidades médias entre 12 e 15 horas. Em regiões tropicais, o período da tarde registra velocidades máximas, entrando pela manhã velocidades mínimas, devido a diminuição da umidade relativa do ar (Soliano, 2019).

Gráfico 1 - Distribuição da probabilidade da velocidade do vento de Rayleigh no horários de 7 horas (a), 12 horas (b), 17 horas (c) e distribuição usando a velocidade média geral semanal (d).

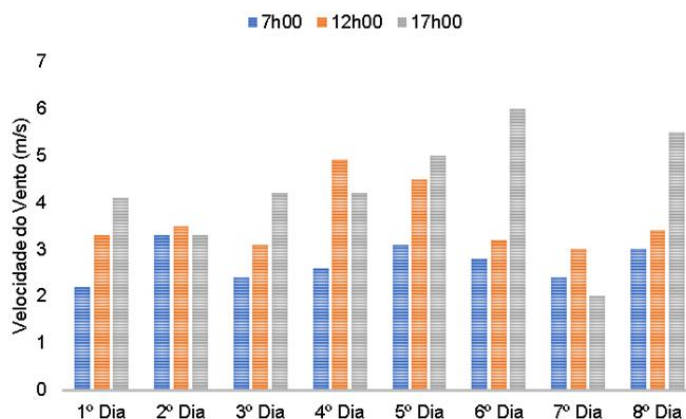


Fonte: Autores, 2022

No gráfico 2, podemos notar que a maior velocidade de vento captada durante o período estudado foi no 6º dia de coleta, dia 06 de setembro, uma terça-feira, mais precisamente às 17h00, onde podemos perceber grande formação de nuvens, vento soprando no sentido Norte-Sul, a orla estava pouco movimentada e, após 20 minutos da coleta, houve precipitação.

Em todos os dias analisados houve a predominância de maiores velocidades de vento no horário das 17h00, com exceção do segundo e quarto dia, onde encontramos as maiores velocidades no horário de 12h00.

Gráfico 2 - Velocidade média do vento durante o período de estudo.

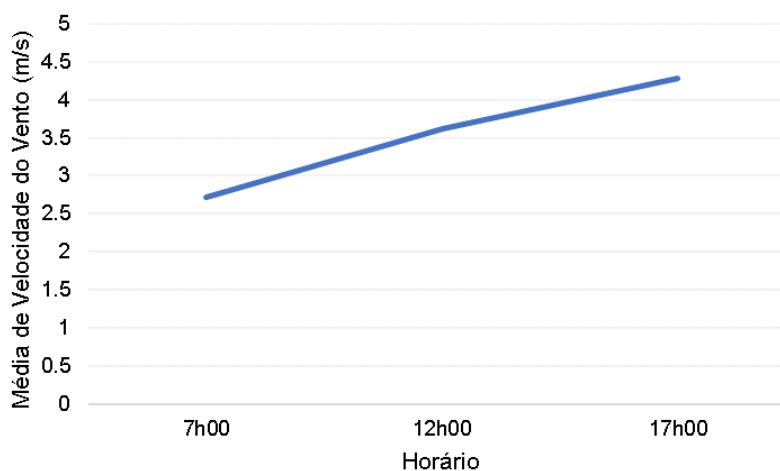


Fonte: Autores, 2022

O gráfico 3 demonstra claramente o comportamento da velocidade do vento em relação ao horário, onde temos os menores resultados no horário da manhã e ventos mais fortes, conforme se aproxima o fim da tarde. Isso pode ser explicado pelo gradiente de temperatura entre a água do rio e a cidade e pela conhecida Brisa Marítima, já que estamos próximos ao oceano, onde, durante o dia, a temperatura na cidade é maior em relação a temperatura da água e conforme se aproxima da noite, o contrário é observado; o lado de maior pressão, ou seja, mais frio avança sobre o lado mais quente (menos denso) e ocorre circulação (Germano et al., 2017).

Em medições feitas por Souza et al (2020) em Salinópolis-PA, litoral paraense, observaram que ventos com magnitudes abaixo de 3,00 m/s ocorrem com maior frequência no primeiro semestre do ano. Já no segundo semestre foram observadas maiores frequências de vento acima de 3,00 m/s, principalmente nos meses entre setembro e novembro durante a primavera austral.

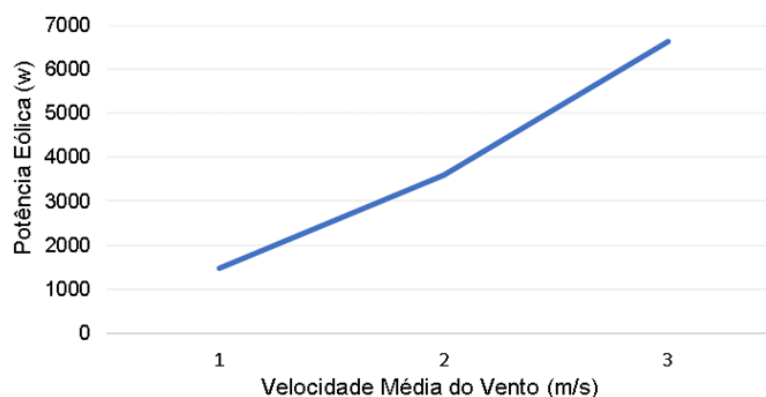
Gráfico 3 - Análise de velocidade média de vento nos três períodos do dia.



Fonte: Autores, 2022

Para saber se um determinado local é viável tecnicamente e economicamente para a produção de energia eólica, um dos requisitos mais importantes que temos que avaliar é a velocidade do vento aplicada à equação da potência eólica disponível. Esta mede a quantidade de energia que uma determinada área (em m²) pode produzir, nesse caso sendo a área de rotação da turbina. Conforme podemos visualizar no gráfico 4, a potência eólica disponível é diretamente proporcional à velocidade do vento.

Gráfico 4 - Relação entre o potencial eólico e a velocidade do vento



Fonte: Autores, 2022

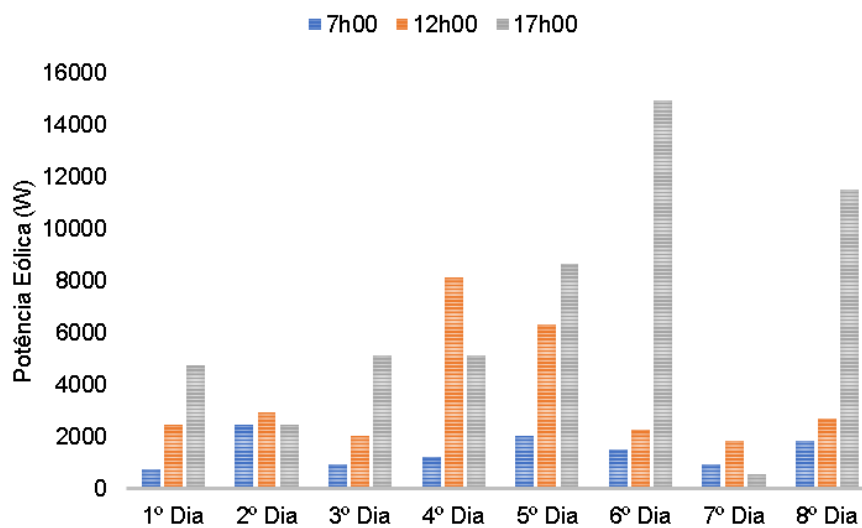
Considerando a média geral de velocidade do vento, de 3,54 m/s, o modelo de aerogerador utilizado como referência para o cálculo do potencial eólico foi o H12.0 – 50000 W da Energy Bras, devido à sua velocidade mínima de partida, de 2 m/s. Com especificações a seguir:

- Modelo do Aparelho: H12.0 – 50000W Energy Bras
- Potência Nominal – 50000 W
- Potência Máxima de Saída – 75000 W
- Voltagem de Saída – 380 Vac
- Velocidade do Vento de Partida – 2 m/s
- Velocidade do Vento Nominal – 11 m/s
- Faixa de Velocidade de Operação – 2,5 a 25 m/s
- Velocidade de Vento de Segurança – 50 m/s
- Eficiência do Rotor – 0,42 Cp
- Tipo de Gerador – Ímã Permanente
- Peso do Gerador – 1200 kg
- Altura da Torre – Torre Estrutural 18 m

- Material da Pá / Quantidade – GRP – fibra de vidro reforçada com plástico – 3 pás
- Diâmetro da pá – 12 m
- Método de desligamento – manual e automático

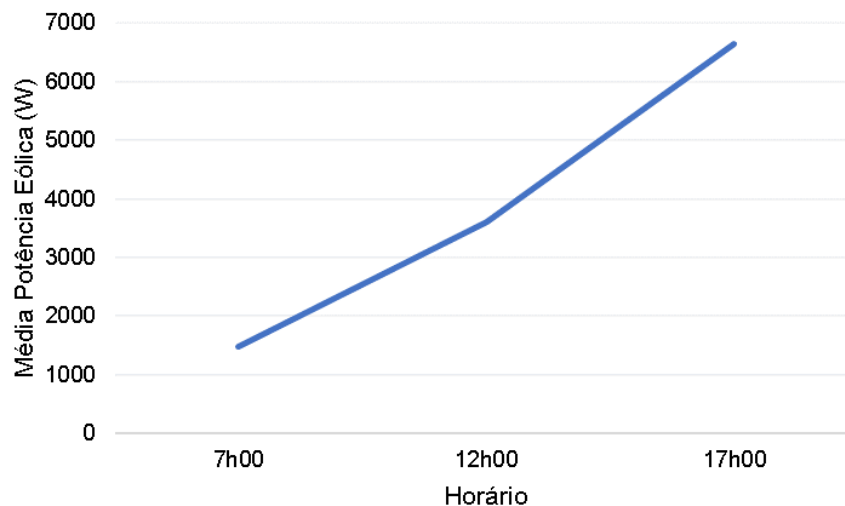
A partir do cálculo de potencial eólico, chegamos ao gráfico 5, onde temos maiores potências no horário de 17h00, conforme gráfico 6. Exceto no 2º, 4º e 7º dia. Vale ressaltar que em 50% dos dias de coleta, entre 17h00 e 17h30 houve formação de nuvens e precipitação.

Gráfico 5 - Potência eólica durante o período de estudo



Fonte: Autores, 2022

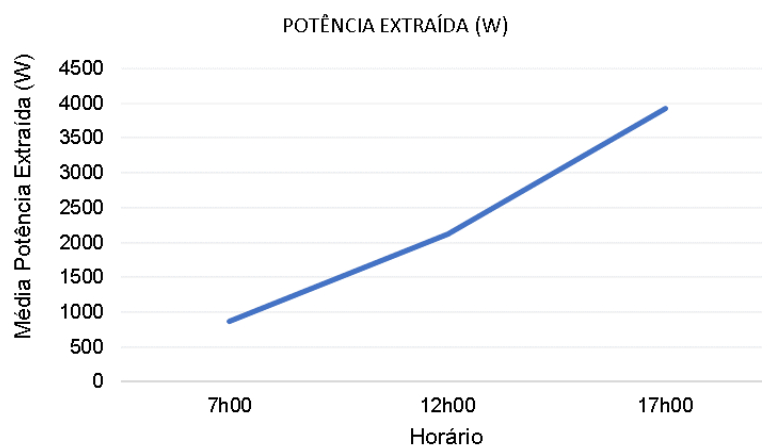
Gráfico 6 - Análise do potencial eólico nos três períodos do dia



Fonte: Autores, 2022

Apesar de se encontrar o potencial eólico disponível de um local, sabemos que durante a transformação da energia cinética do vento ocorrem perdas de energia devido ao atrito e outras perdas aerodinâmicas (Cardoso et al., 2015), sendo assim, é de suma importância o cálculo de Potência Eólica Extraída para mensurar essas perdas e descobrir o valor realmente utilizável do vento. Acompanhando os gráficos anteriores, podemos observar no gráfico 7 que a potência extraída, logicamente que vai aumentar, também, conforme se aproxima o fim da tarde.

Gráfico 7 - Potência eólica extraída durante o período de estudo



Fonte: Autores, 2022

Considerando os dados, a seguir:

- Média Geral de Velocidade do Vento: 3,54 m/s
- Diâmetro do Rotor: 12 m
- Área do Rotor: 113,097 m²
- Coeficiente de Betz (C_p): 0,59

Temos que,

O potencial eólico foi de 3077,38 W e a potência realmente utilizável do vento é de 1815,65 W.

Ferreira et al (2019) demonstraram que na cidade de Soure-Pa (Ilha do Marajó), a velocidade média anual do vento em foi de 2,269 m/s e a densidade de potência média anual foi de 7,1556 W/m².

Usualmente, o aproveitamento do conteúdo energético do vento se justifica apenas a partir de velocidades de vento da ordem de 2,5 a 3 m/s. Velocidades superiores a aproximadamente 12-15 m/s ativam o sistema automático de limitação de potência do

aerogerador (Chiuso;Silva, 2016). Assim, grande parte das medições feitas estão dentro do padrão para o aproveitamento energético.

CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos, pôde-se estimar preliminarmente a possibilidade para o aproveitamento energético eólico na zona costeira de Belém, onde a velocidade média semanal foi de 3,54 m/s, proporcionando uma geração de potência extraída de 1815,65 m/s. As maiores velocidades se deram pelo período da tarde, na qual a média foi de 4,29 m/s. Recomenda-se aprofundar o conhecimento da velocidade de vento em uma cronologia maior como, por exemplo, uma análise mensal ou anual, bem como observá-la em outros níveis de altura: 20 m 30 m ou 50 m, sendo esta última a altura predominante na maioria dos estudos. Além de associar os dados coletados com outras variáveis como a rugosidade do território, intensidade e direção dos ventos, provenientes de estações meteorológicas ou presentes em plataformas como a CRESESB (Centro de referência para energia solar e eólica). A coleta de temperatura local no momento da coleta também seria interessante.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –Brasil (CAPES). Agradecemos também ao Programa de Pós Graduação em Tecnologias, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia (PPGTEC) -Universidade do Estado do Pará.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, G. A.; Cangussú, D. D. S.; Silva, M. R.; & Perdigão, K. Aplicação do modelo Weibull na modelação matemática para análise da viabilidade de geração de energia eólica. **Revista Engenharia de Interesse Social.**, v. 5, n. 5, 2020.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço energético nacional 2022: ano base 2021. 12. ed. Rio de Janeiro, 2022.

CARDOSO, J. M. de M.; FERREIRA, D. H. L.. Equações matemáticas e conceitos físicos aplicados a uma turbina eólica vertical de pequeno porte. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*. Itapetininga, v. 2, n. 3, 2015.

CHIUSO, J.E; SILVA, A. J. **Propostas para dimensionamento de um parque eólico na região de Araraquara**. Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: [http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/congressos/CBPE2004/Artigos/PROPOSTAS% 20PAR A% 20DIMENSIONAMENTO% 20DE% 20UM](http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/congressos/CBPE2004/Artigos/PROPOSTAS%20PARA%20DIMENSIONAMENTO%20DE%20UM), v. 2, n. 0, 2016.

DALMAZ, Alessandro. Estudo do Potencial Eólico e Previsão de Ventos para Geração de Eletricidade em Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

FERREIRA, A.R.A et al. XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. ANÁLISE DA VELOCIDADE DO VENTO E DO POTENCIAL DE ENERGIA EÓLICA NA ILHA DE MARAJÓ. 2018.

França, J. P. (2018). *Espaços públicos de lazer e cidade: desdobramentos em Belém-PA, o caso Orla Portal da Amazônia* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

GERMANO, M. F.; VITORINO, M. I.; COHEN, J. C. P. COSTA, G. B.; SOUTO, J. I. D. O.; REBELO, M. T. C.; SOUSA, A. M. L.. Analysis of the breeze circulations in Eastern Amazon: an observational study. *Atmospheric Science Letters*, v.18, n.2, p.67-75, 2017.

NETO, M. R. B.; CARVALHO, P. C. M. DE. Geração de energia elétrica. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012.

NUNES, Lucas Mateus Coelho et al. Sustainable innovation: decentralized hydroelectric power microgeneration in a rural Amazon community: Inovação sustentável: microgeração de energia hidrelétrica descentralizada em uma comunidade rural Amazônica. **Concilium**, v. 23, n. 23, p. 638-656, 2023.

Silva, M. C. R. D. (2021). Geração de energia eólica offshore e sua relação frente à geração onshore.

SOBRAL, F. S. B.; FACCIOLI, G. G. Avaliação do Potencial Eólico para Geração de Energia em Nossa Senhora da Glória-SE. **Scientia Plena**, v. 5, n. 6, 2009.

SOLIANO, P.O et al. **Energia eólica**. Editora Senac São Paulo, 2019.

SOUZA, Hyago Elias Nascimento et al. Variabilidade e potencial da fonte eólica para geração de energia elétrica na costa amazônica. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 400-410, 2020.

PINTO, M. DE O. Fundamentos de energia eólica. Rio de Janeiro: LTC, 2013

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM E ENGESOLO ENGENHARIA LTDA. Programa de Recuperação Urbano-Ambiental da Bacia Hidrográfica da Estrada Nova, Processo de Licenciamento Ambiental da Bacia Hidrográfica da Estrada Nova: Estudo de Impacto Ambiental - EIA. 2007.