



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS PONTAL DO PARANÁ  
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Heloisa Rodrigues

**Potencial de Geração de Energia Elétrica por Microgeradores Eólicos no Litoral do  
Paraná**

Pontal do Paraná

2022

HELOISA RODRIGUES

POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR MICROGERADORES  
EÓLICOS NO LITORAL DO PARANÁ

Projeto apresentado como requisito para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Campus Pontal do Paraná, Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silveira Armani

PONTAL DO PARANÁ

2022

## RESUMO

Os ventos são uma fonte de energia interessante quando seu regime é propício à adoção de geradores de energia eólica. Este trabalho se baseia no estudo do potencial de geração de energia eólica por microgeradores Na Ilha do Mel, no litoral do Paraná, através do estudo dos dados obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de janeiro de 2008 a dezembro de 2017. Foram elaboradas análises de potencial energético e da intensidade e direção dos ventos para determinar se a produção de energia é favorecida por brisas na Ilha do Mel. Avaliou-se três microgeradores: SS-1000, MasterX e NE-3K. O SS-1000 mostrou baixo potencial de geração de energia para a região da Ilha do Mel, enquanto o MasterX e o NE-3K possuem desempenho favorável, sendo o NE-3K o mais recomendado para a região, capaz de suprir e exceder a demanda energética de uma residência durante pelo menos metade do ano, nos meses de maior incidência de ventos. Notou-se uma relação direta entre o diâmetro do rotor e a capacidade de produção de energia, sendo esse parâmetro fundamental na escolha do microgerador mais adequado para a região. Quanto à influência de brisas, foi observado que há um pico diário na intensidade dos ventos, efeito comum das brisas terrestres, favorecendo a produção de energia durante a noite.

Palavras-chave: energia eólica; microgerador eólico; potencial elétrico.

## **ABSTRACT**

Winds are an interesting source of energy when the wind regime is propitious to the adoption of wind turbines. This work is based on the study of the potential of wind energy generation by micro wind turbines on Ilha do Mel, on the coast of Paraná, through the study of data obtained through the Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) from January 2008 to December 2017. Analyzes of energy potential and wind intensity and direction were carried out to determine whether there is an influence of breezes on Ilha do Mel. Three micro wind turbines were evaluated: SS-1000, MasterX and NE-3K. The SS-1000 showed low potential for the Ilha do Mel region, while the MasterX and the NE-3K have a favorable performance, with the NE-3K being the most recommended for the region, capable of supplying and exceeding the energy demand of a residence during at least half of the year, in the months with the highest incidence of winds. It was found a direct relation between the rotor diameter and the energy production capacity, which is a fundamental parameter in choosing the most suitable micro wind turbine for the region. Regarding the influence of breezes, it was observed that there is a daily peak in the intensity of the winds, a common effect of land breezes, favoring the production of energy during the night.

Keywords: wind energy; micro wind turbine; electric potential.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ILHA DO MEL .....	21
FIGURA 2 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO AUTOMÁTICA .....	23
FIGURA 3 – VISUALIZAÇÃO DE SATÉLITE DA LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO ....	23
FIGURA 4 – ROSA DOS VENTOS GERAL .....	31
FIGURA 5 – ROSA DOS VENTOS DIURNA.....	31
FIGURA 6 – ROSA DOS VENTOS NOTURNA.....	32

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – QUANTIDADE DE FALHAS NAS MEDIÇÕES DE VENTO POR HORA E POR DIA .....	24
TABELA 2 – MODELOS E PREÇOS DE MICRO AEROGERADORES .....	25
TABELA 3 – EXTRAPOLAÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO PARA DIFERENTES ALTURAS.....	33
TABELA 4 – CÁLCULOS PARA O MICROGERADOR SS-1000.....	33
TABELA 5 – CÁLCULOS PARA O GERADOR MASTERX.....	34
TABELA 6 – CÁLCULOS PARA O MICROGERADOR NE-3K .....	35
TABELA 7 – ECONOMIA NO VALOR DA TARIFA DE ENERGIA PROPORCIONADA POR CADA GERADOR.....	40
TABELA 8 – ANÁLISE MENSAL DA PRODUÇÃO DE ENERGIA PARA O ANO DE 2014 .....	41

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL PARA VELOCIDADE DO VENTO [m/s] .....	28
GRÁFICO 2 – VELOCIDADE MÉDIA MENSAL DO VENTO NOS ANOS COM MENORES QUANTIDADES DE FALHAS DE OPERAÇÃO NA ESTAÇÃO METEREOLÓGICA .....	29
GRÁFICO 3 – VELOCIDADE MÉDIA HORÁRIA NOS ANOS COM MENORES QUANTIDADES DE FALHAS NA OPERAÇÃO DA ESTAÇÃO METEREOLÓGICA .....	29
GRÁFICO 4 – VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO [m/s] PARA DIFERENTES ALTURAS [m] .....	37
GRÁFICO 5 – PORCENTAGEM DE TEMPO EM QUE HÁ PRODUÇÃO DE ENERGIA [%] PARA DIFERENTES ALTURAS [m].....	38
GRÁFICO 6 – POTÊNCIA MÉDIA [W] PARA DIFERENTES ALTURAS [m] .....	38
GRÁFICO 7 – PRODUÇÃO DE ENERGIA MENSAL DURANTE OS MESES DO ANO DE 2014.....	43

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	13
1.1 OBJETIVOS .....	14
1.1.1 Objetivo Geral .....	15
1.1.2 Objetivos Específicos .....	15
1.2 JUSTIFICATIVA .....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	21
3.2 ANÁLISE DE DADOS.....	22
3.3 MICROGERADOR DE ENERGIA EÓLICA .....	24
3.4 TRATAMENTO DE DADOS .....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 COMPORTAMENTO DO VENTO .....	28
4.2 RESULTADOS DA EXTRAPOLAÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO .....	32
5 CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS.....	45



## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da consciência ambiental em assuntos como o aquecimento global e as emissões de carbono gerou uma demanda por fontes de energia limpas e sustentáveis, tais como o vento, o sol, o mar, a biomassa e a energia geotérmica (PATEL, 2005). Em locais remotos, muitas vezes é mais viável a produção de energia à transmissão de grandes geradores, sendo comum a utilização da queima de diesel, o que gera poluição e abre portas para às tecnologias de produção de energias limpas (MISHNAEVSKY JUNIOR et al, 2011).

A energia eólica apresenta diversas vantagens sobre outros tipos de energias: é uma fonte abundante, não gera resíduos e não libera gases poluentes. O uso dessa fonte pode contribuir com a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, além de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, que não são renováveis e sofrem instabilidade de preço (TONG, 2010). O Estado tem valorizado essa vertente energética, promovendo programas de incentivo que aumentaram a competitividade e investimentos na área, além do aumento de pesquisas de viabilidade de instalação de usinas eólicas em diferentes regiões do Brasil. Entretanto, segundo Oliveira Neto & Lima (2017), os investimentos no setor precisam aumentar com o desenvolvimento de políticas públicas, subsídios e programas governamentais.

O boletim de informações gerenciais da Agência Nacional de Energia Elétrica, do ano de 2019, mostrou um crescimento de 633,6% na potência instalada de usinas eólicas no Brasil de 2013 a 2018, enquanto esse avanço foi de 21,1% em hidrelétricas e de 12,5% em termelétricas. No entanto, a energia hidrelétrica ainda é a principal fonte de energia elétrica no Brasil. No ano de 2018, a energia elétrica do país foi produzida pelas seguintes fontes: hidrelétrica (74,2%), energia eólica/fotovoltaica (8,3%), gás natural (7,7%), nuclear (2,8%), carvão (2,3%), biomassa (1,6%), outras (1,9%) (ANEEL, 2019). Em termos de capacidade nominal de produção de energia, cerca de 67% da energia elétrica brasileira é produzida por usinas hidrelétricas (EPE, 2020).

A expansão na produção de energia pelo vento tem ocorrido, principalmente, por grandes geradores eólicos, mas também tem crescido a disponibilidade de geradores para produção de energia em pequena escala. Segundo Clausen & Wood (1999) geradores eólicos de pequeno porte abrangem os minis e microgeradores, os quais possuem raio do rotor variando entre 1,5 e 5 m, entretanto, modelos mais atuais

apresentam diâmetros de rotor menores, com maior número de pás. Os geradores apresentam diferentes aplicações de acordo com sua potência: aqueles com menos de 5 kW são utilizados para carregar baterias e em locais remotos; entre 1 e 10 kW são destinados ao uso residencial; geradores entre 10 kW e 300 kW destinam-se a fazendas, pequenos negócios e instituições (CANWEA, 2008). De acordo com a Resolução N° 687 da ANEEL (2015), microgeradores eólicos são aqueles com capacidade de potência instalada de até 75 kW.

A velocidade mínima para que as pás de um gerador comecem a girar e para iniciar a produção de energia varia de acordo com o modelo escolhido, geralmente desenvolvido para operar dentro de uma faixa de velocidade de vento que varia de 4 a 15 m/s (LETCHER, 2017). Como em altitudes menores a velocidade do vento é mais baixa, isso acaba sendo um fator limitante ao uso dessa tecnologia para microgeradores, sendo importante a adaptação de menores diâmetros de rotor, que tenham eficiência adequada para a faixa de velocidade do vento da região.

A variabilidade do vento à superfície resulta da atuação de fenômenos meteorológicos de várias escalas de espaço e tempo, como a microescala, de proporção local, a mesoescala, com proporção regional, e a escala sinótica, de grandeza global (BARRETO, 2001; OLIVEIRA JUNIOR et al., 2013). Um fenômeno de mesoescala que pode favorecer a produção de energia em regiões costeiras é a brisa. Esse fenômeno meteorológico ocorre devido às diferenças térmicas entre as superfícies terrestres e marítimas, induzindo um regime específico de produção de vento com ciclos diários, que são as brisas marítimas e terrestres.

Neste trabalho, apresenta-se uma avaliação do regime de ventos de uma estação localizada na região costeira do litoral do Paraná, na Ilha do Mel, a fim de se tentar identificar padrões típicos de brisas e analisar a capacidade de produção de energia, comparando a quantidade de energia elétrica gerada por diferentes modelos de micro aerogeradores e analisando o consumo médio de energia e o tempo para recuperação do investimento, evidenciando a viabilidade de aderência a essa fonte renovável.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a capacidade de produção de energia por diferentes modelos de microgeradores eólicos na Ilha do Mel.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos deste trabalho são:

- a) Consistir os dados meteorológicos da estação automática monitorada pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), localizada na Ilha do Mel, em Paranaguá.
- b) Analisar o regime de ventos medido pela estação meteorológica;
- c) Avaliar o padrão de variação do ângulo do vento medido pela estação;
- d) Identificar se há influência de brisas marítimas e terrestres nas medições da estação;
- e) Avaliar o potencial de geração de eletricidade a partir de energia eólica na região;
- f) Realizar análises que evidenciem as vantagens e desvantagens de 3 modelos distintos de microgeradores eólicos.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O crescente avanço em tecnologias que minimizem os impactos ambientais ao redor do mundo mostra que a preocupação com a temática tem aumentado, abrindo espaço para mudanças, tais como na forma de geração de energia elétrica, como as fontes renováveis. No litoral do Paraná, ainda que em baixo número, algumas residências possuem placas solares fotovoltaicas para geração de energia, mas geradores eólicos não são tão comuns. Assim, neste trabalho se analisa a viabilidade técnica e econômica da implantação de microgeradores eólicos, para geração de energia elétrica, no litoral do Paraná.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O movimento de rotação da Terra permite que áreas distintas do planeta recebam radiação solar em diferentes períodos do dia, gerando um gradiente térmico, que promove a circulação de massas de ar pelo globo. De acordo com SOBRAL (2009), as massas de ar de regiões equatoriais são mais quentes devido à maior incidência de radiação nessa área, enquanto, as massas de ar frias vindas dos polos, locais em que a radiação solar incidente é menor, tendem a se movimentar em direção aos trópicos, mas acabam nas latitudes de cavalo, presentes em torno de 30° Sul e 30° Norte. O encontro dessas massas de ar provoca a formação dos ventos alísios, que têm direções distintas no Hemisfério Norte e no Hemisfério Sul devido ao efeito de Coriolis (SOBRAL, 2009).

A margem costeira do Brasil possui grande potencial de geração de energia eólica, principalmente a Região Nordeste devido à alta influência dos ventos alísios (ORTIZ & KAMPEL, 2011; ALVES, 2001). Na Região Sul do Brasil, outros sistemas sinóticos têm influência no regime de ventos na zona costeira, como os Sistemas Atmosféricos Extratropicais e os Sistemas Intertropicais (SARTORI, 2003). Os ventos alísios de sudeste intensificam-se em condições em que as águas do Atlântico Sul estão mais frias que o comum, causando o enfraquecimento dos ventos alísios de nordeste se as águas do Atlântico Norte estiverem mais quentes do que o normal nesse período, favorecendo o deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (FERREIRA & MELLO, 2005).

O fenômeno de enfraquecimento dos ventos alísios e do aumento anormal da temperatura da superfície da água do Oceano Pacífico Tropical é denominado El Niño, o qual muda os padrões de vento em nível global, subsequentemente, afetando regimes de chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias. Quando os ventos alísios se intensificam e a temperatura superficial do Mar Pacífico Equatorial se resfria, surgindo o fenômeno La Niña (MEC, 2005). Entretanto, Oliveira & Costa (2011) analisaram casos extremos desses fenômenos, identificando que, nesses casos, o El Niño serviu como intensificador da velocidade do vento, enquanto a La Niña agiu de maneira oposta, mas numa escala de intensidade menor (OLIVEIRA & COSTA, 2011).

O tempo e o clima de uma região são determinados pela presença e interação de circulações termicamente induzidas com fenômenos de grande escala ou mesoescala. A brisa marinha, por exemplo, é um sistema de mesoescala cujos ciclos

diurnos são esperados nas regiões costeiras devido à ocorrência de um rápido aquecimento da superfície continental nesse período (BARRETO, 2001; MAZON et al., 2015). Segundo a Companhia Paranaense de Energia, no litoral e nas ilhas do Paraná, a ação das brisas marinhas causa o aumento da velocidade do vento entre as 11 horas e 18 horas (COPEL, 2007). No período noturno, atuam as brisas terrestres, cujos ventos seguem do continente em direção ao mar (PEREZ & DIAS, 2017).

O elevado calor específico da água do mar em relação a superfície do continente resulta num tempo maior para o aquecimento e resfriamento da água pela radiação solar. As massas terrestres naturais, em geral, respondem mais rapidamente à irradiação devido ao seu menor calor específico. Conseqüentemente, o ar aquecido da superfície terrestre tende a movimentar-se para cima, abrindo espaço para que o ar sobre o mar, que está mais frio, flua em direção ao continente, gerando as brisas marinhas (MEC, 2005). A importância das brisas nos trópicos é mais pronunciada do que nas latitudes médias em virtude da aceleração de Coriolis ser mais fraca nas áreas tropicais, não influenciando no desvio do vento, como ocorre em latitudes maiores (LEITE, 2013). Mazon et al. (2015) concluíram que as brisas marinhas são uma fonte vantajosa de geração de energia em pequena escala em regiões com condições favoráveis, como em litorais periurbanos, onde usinas de geração eólica não podem ser instaladas.

O Brasil detém uma vasta área de terra, na qual ocorrem diversos fenômenos atmosféricos em diferentes localidades, com relevos distintos. Assim, surge a necessidade de estudar individualmente as regiões e estados, que por suas peculiaridades podem apresentar resultados diferentes na produtividade de energia eólica mesmo estando dentro de uma mesma região ou estado. Por exemplo, a cidade de Laguna, em Santa Catarina, que, segundo Conte & Rampinelli (2016), possui altas potências médias de produção de energia devido à alta velocidade do vento na região, enquanto Araranguá, no mesmo estado, apresenta valores baixos. Também na Região Sul, Maldaner et al. (2017) encontraram um baixo potencial eólico para a cidade de Santa Maria - RS, enquanto no estado existem diversos parques eólicos contribuindo com a geração de energia.

Nas proximidades da superfície da Terra, os ventos sofrem a ação de forças de fricção e obstáculos, que modificam tanto sua velocidade quanto direção, gerando fluxos turbulentos responsáveis por uma ampla variação de amplitudes e frequências.

A energia eólica é obtida por geradores que transformam energia cinética em energia elétrica e, para estudar o comportamento do vento, é necessário verificar sua velocidade e direção, que são afetadas por fatores como a altitude, fenômenos atmosféricos, características climáticas, localização geográfica e a topografia da superfície (BIANCHI et al. 2007). De acordo com Chaudhary & Roy (2015), a energia que pode ser transferida do vento para o rotor de um microgerador depende de fatores como a densidade do ar, a área do rotor e a velocidade do vento, sendo as pás a principal parte do sistema, impactando diretamente na eficiência da absorção de energia.

Os elementos básicos que constituem os geradores eólicos são: torre, rotor, eixo de engrenagem mecânica, gerador elétrico, mecanismo de guinada, sensores e controle (PATEL, 2005). Além disso, os microgeradores eólicos possuem rotor, com geralmente três pás, e podem ser de eixo horizontal ou vertical, sendo as principais diferenças entre os modelos: velocidade inicial para o rotor começar a girar, ruídos emitidos, potência alcançada, viabilidade de instalação em área urbana e o custo de instalação (IDEAL, 2014). Os microgeradores de eixo horizontal são os mais eficientes em locais onde não ocorrem muitas mudanças na direção do vento, mas podem ser mais ruidosos e são inadequados para lugares com ventos turbulentos. Os microgeradores eólicos de eixo vertical ainda representam pequena participação no mercado, mesmo com sua vantagem em relação ao eixo horizontal na questão da resposta à turbulência do vento (JAMES & BAHAJ, 2017).

O mercado de microgeradores eólicos é amplo, podendo-se optar pelo modelo que melhor satisfaz as necessidades do comprador. Na década de 1970, muitos problemas foram enfrentados por usuários de microgeradores nos Estados Unidos, época em que os testes de qualidade, segurança e eficiência ainda não estavam bem estabelecidos, resultando em uma imagem negativa para a energia eólica devido às altas taxas de falha nos geradores. Ainda assim, houve sucesso no aprendizado para correções de operação e problemas de instalação, o que somado à criação de programas de instalação de microgeradores eólicos financiados pelo governo, possibilitou a criação de máquinas confiáveis no mercado no meio da década de 1980 (SPERA, 2009). Desde então, o mercado de microgeradores vem crescendo e se aprimorando, com novas tecnologias para melhoria de eficiência dos aerogeradores, melhorando os componentes e reduzindo custos. Segundo o Departamento de Energia dos Estados Unidos, o Wind Energy Technologies Office (WETO) é uma

organização que trabalha com indústrias parceiras do setor para aumentar o desempenho e a confiabilidade das tecnologias eólicas da próxima geração, ao mesmo tempo em que reduz o custo da energia eólica, demonstrando que essa fonte de energia ainda pode ser melhorada no futuro (OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY, 2022).

A geração de energia em pequena escala, com capacidade menor que 3 kW para instalações domésticas, é de uso local, evitando as perdas na transmissão de energia e na rede de distribuição (LI et al., 2010). Para manter o gerador com a menor dimensão possível atendendo a necessidade elétrica, torna-se crucial a otimização do dispositivo para todas as condições de operação possíveis (CARLI et al., 2010).

A utilização de fontes alternativas de energia, como o vento, mostrou-se viável para os consumidores quando se tornou possível a injeção de energia elétrica na rede de energia em troca de créditos em kWh na conta de luz, tornando mais fácil recuperar o investimento de instalação, além de valorizar o imóvel (IDEAL, 2014). As energias alternativas ainda podem solucionar o problema das redes de transmissão de alta tensão, que se mostraram um problema ambiental e social, devido à emissão do campo eletromagnético, cuja exposição prolongada pode resultar no desenvolvimento de leucemia, câncer de mama, distúrbios neuropsicológicos e problemas reprodutivos (AHMADI et al, 2010; PATEL, 2005).

Possuir um microgerador de energia eólica pode garantir estabilidade ao consumidor em casos de aumento inesperado das tarifas de energia elétrica, tal como durante a pandemia do Covid-19. Nos Estados Unidos, a previsão de aumento nas tarifas de energia elétrica por conta do isolamento social é de 20 a 30% por mês, principalmente nos estados mais ao Sul, com a chegada do verão, período em que geralmente ocorre aumento do consumo (UCS, 2020). No Brasil, o Ministério de Minas e Energia e companhias de energia elétrica criaram programas para amortecimento de reajustes em faturas e a proibição do corte de energia em caso de não pagamento, o que não impediu ajustes das faturas, mas reduziu a porcentagem repassada para os consumidores, como ocorreu em São Paulo (ANEEL, 2020; OLIVEIRA, 2020). O estado de Minas Gerais sofreu um grande impacto na energia elétrica durante a pandemia: em algumas cidades, a população teve um aumento de 720% na fatura de luz; na região Norte do estado a população de baixa renda enfrentou falta de energia; a região Sul de Minas sofreu picos de energia, que provocaram a queima de equipamentos eletrônicos (GUIMARÃES, 2020).

Em 2017, na Ilha do Mel, 200 doses de vacina foram perdidas durante um temporal que causou a interrupção do fornecimento de energia por período prolongado (G1, 2017). Desta maneira, possuir uma fonte de energia alternativa de energia, principalmente em locais de difícil acesso, como ilhas, é uma forma de prevenir que acidentes como esse ocorram, evitando desperdício de insumos que necessitam de refrigeração.

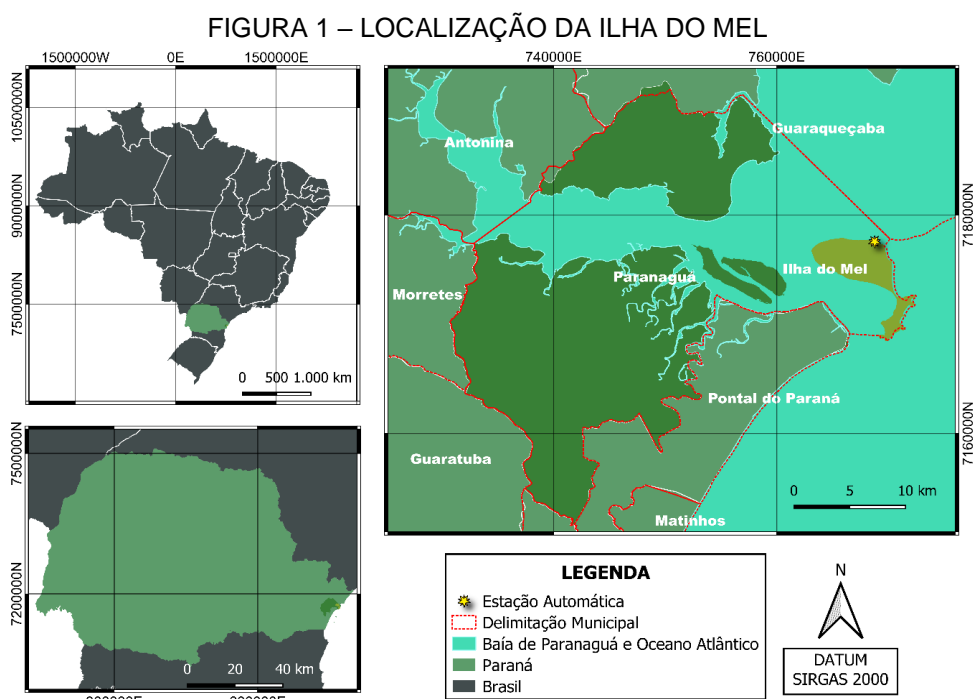


### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Paranaguá, localizado no estado do Paraná, possui área de 826,674 km<sup>2</sup> e está inserido no bioma Mata Atlântica, fazendo divisa com todas as cidades do litoral do Paraná. Além disso, a cidade abriga a Baía de Paranaguá, área de grande potencial econômico, onde está localizado o Porto de Paranaguá, o maior exportador de farelo de soja e óleo vegetal do Brasil, o qual possui vasta diversidade biológica devido à extensa região de água salobra e manguezais (APPA, 2022; SECULTUR, 2022). Ademais, o município possui população estimada em 2021 de 157.378 habitantes (IBGE, 2022).

A Ilha do Mel (FIGURA 1) está vinculada ao município de Paranaguá, sob jurisdição e proteção do Instituto Água e Terra (IAT), com área de 2.586,48 ha, dos quais 93,71% são compostos por uma Estação Ecológica e um Parque Estadual. A Ilha do Mel está localizada na entrada da Baía de Paranaguá e sua população varia de 800 a 1200 moradores, dependendo da época do ano (PROJETO LITORAL NOTA CEM, 2022).



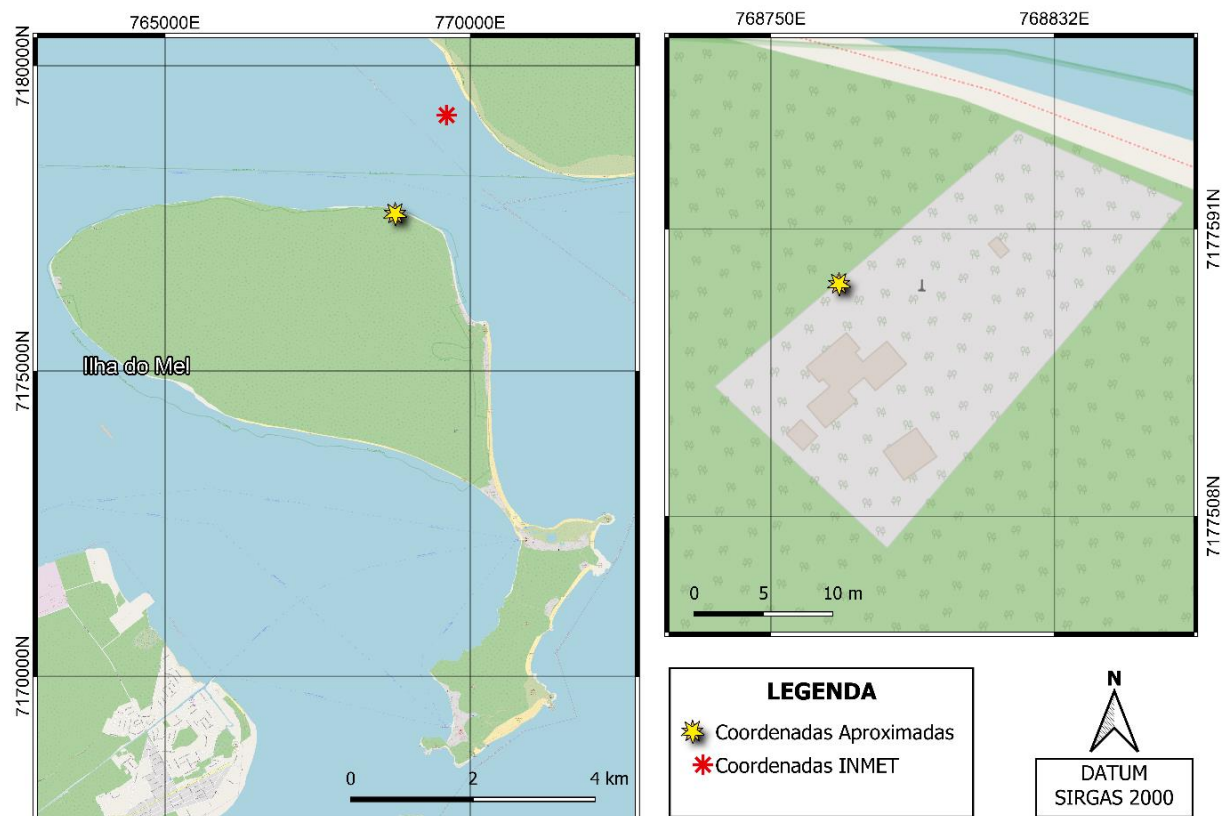
FONTE: Adaptado de IBGE (2021), PARANAGUÁ (2022) e Observatório do Litoral Paranaense (2022).

Na década de 1970, a população local da Ilha do Mel vivia da pesca artesanal e de agricultura para consumo próprio, até que com a abertura da estrada de acesso às praias, iniciou-se o desenvolvimento turístico das cidades litorâneas. Durante as décadas de 1980 e 1990, a Ilha também recebeu muitos imigrantes, dos quais os de classe média alta instalaram comércios na Ilha e os de classes mais baixas buscaram oportunidades de emprego (KIM, 2004). Assim, a população da Ilha do Mel se tornou mais diversificada, o que se intensifica nos meses de temporada, onde a Ilha abriga maior número de turistas nas pousadas. O aumento do número de turistas também aumenta o consumo de energia, sendo interessante analisar a possibilidade de outras fontes além da rede de abastecimento, como a energia provinda dos ventos.

### 3.2 ANÁLISE DE DADOS

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos através do INMET em parceria com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), referentes à estação meteorológica automática localizada na Ilha do Mel. Selecionou-se os dados de janeiro de 2008 até dezembro de 2017, totalizando 10 anos de informações com medições horárias. A estação está localizada na altitude de 1 m, sendo informadas as coordenadas 25°29'S 48°19'W pelo INMET. Entretanto, conforme pode ser observado na FIGURA 2, as coordenadas não estão corretas, sendo a omissão dos segundos a possível responsável pelo erro. A partir da observação do mapa das estações automáticas do INMET (2022) e com o auxílio do Google Earth (2022), pôde-se localizar a região descampada demonstrada na FIGURA 3, onde está localizada o anemômetro, possibilitando a determinação de uma localidade mais aproximada da estação nas coordenadas 25°29'41" S 48°19'33" W.

FIGURA 2 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO AUTOMÁTICA



FONTE: Adaptado de INMET (2022)

FIGURA 3 – VISUALIZAÇÃO DE SATÉLITE DA LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO



FONTE: Google Earth (2022)

Dentre os dados medidos na estação, foram utilizadas a temperatura do ar e a pressão atmosférica para calcular a densidade do ar e a velocidade e a direção do vento para os demais cálculos e criação das rosas dos ventos.

A TABELA 1 evidencia que as maiores falhas de medições da velocidade do vento se deram nos anos de 2010, 2013 e 2016. Os anos de 2012, 2014 e 2015 foram os anos com menos falhas, sendo 2014 sem nenhuma falha. Considerando todos os anos, a média de falhas na velocidade do vento é de 17,1%.

TABELA 1 – QUANTIDADE DE FALHAS NAS MEDIÇÕES DE VENTO POR HORA E POR DIA

Ano	Falhas		
	%	Horas	Dias
<b>2008*</b>	3,18	279	11,63
<b>2009</b>	4,26	373	15,54
<b>2010</b>	49,90	4371	182,13
<b>2011</b>	10,09	884	36,83
<b>2012*</b>	0,03	3	0,13
<b>2013</b>	43,62	3821	159,21
<b>2014</b>	0,00	0	0,00
<b>2015</b>	0,01	1	0,04
<b>2016*</b>	46,25	4063	169,29
<b>2017</b>	13,52	1184	49,33

FONTE: Adaptado de INMET (2022)

NOTA: \* Anos bissextos.

Os cálculos e demais análises dos dados foram realizadas em linguagem de programação Python e através do software Microsoft Excel.

### 3.3 MICROGERADOR DE ENERGIA EÓLICA

São muitos os modelos de geradores de energia existentes no mercado, cada qual apresentando vantagens e desvantagens, devendo ser analisados alguns fatores antes de escolher qual adquirir: altura mínima de instalação, potência, eficiência, resistência a rajadas, velocidade mínima para início e intervalo de produção de

energia, nível de ruídos, proximidade de mão de obra para reparos e custo de instalação. Analisando esses fatores listados, foram priorizados três pontos: velocidade mínima para início de produção de energia, diâmetro do rotor e custo de instalação.

Deste modo, considerou-se o levantamento demonstrado na TABELA 2 – os quais desconsideram o valor da construção da torre onde o gerador ficará fixado – e a acessibilidade para aquisição do aerogerador de pequeno porte, foram escolhidos três modelos para análises, incluindo o gerador mais barato, com menor necessidade de velocidade do vento mínima para início de geração de energia, o SS-1000, visando a universalização do acesso às fontes renováveis de energia.

TABELA 2 – MODELOS E PREÇOS DE MICRO AEROGERADORES

Nome	Valor [R\$]	Frete [R\$]	Total [R\$]	P [W]	V <sub>min</sub> [m/s]	V <sub>max</sub> [m/s]	V <sub>nominal</sub> [m/s]	D <sub>rotor</sub> [m]	N <sup>o</sup> pás
<b>NE-3K</b>	6533,56	2011,91	8545,47	3000	2	50	12	2,8	3
<b>MAGNUM 5</b>	6800,00	0,00	6800,00	5000	3	50	*	2,18	3
<b>MasterX</b>	3900,00	0,00	3900,00	1000	2	50-58	*	1,6	3
<b>Mppt Mars Rock WT060</b>	3035,00	118,50	3153,50	600	2	22,2	12,5	1,23	5
<b>Mars Rock</b>	1677,33	0,00	1677,33	600	1,8	45	10	1,35	5
<b>SS-1000</b>	1675,09	379,26	2054,35	1000	1,3	50	13	0,8	8

FONTE: Amazon (2022), TESUP (2022a), TESUP (2022b), Mercado Livre (2022), Aliexpress (2022a), Aliexpress (2022b).

Nota: \* Não informado.

Os três modelos de microgerador escolhidos para as análises foram o NE-3K, o MasterX e o SS-1000. O NE-3K, disponível pela Amazon USA, é o modelo mais caro, mas possui maior diâmetro de rotor, 2,8 m, começando a produzir energia a partir de ventos de 2 m/s, assim como o MasterX, que possui diâmetro menor, de 2,18 m, e pode ser comprado pela TESUP, uma empresa brasileira que importa o gerador da Europa. O terceiro microgerador escolhido, o SS-1000, da marca SMARAAD, conhecida no mercado de geração de energia eólica chinês, possui a menor velocidade mínima para início de geração de energia, de apenas 1,3 m/s, mas também possui o menor diâmetro de rotor, de 0,8 m.

Geradores de pequeno porte não possuem restrições à altura, contanto que a velocidade máxima permitida para que o equipamento não quebre seja respeitada, o que foi considerado na escolha dos 3 geradores estudados, já que a velocidade

máxima encontrada na série de dados foi de 16,3 m/s e os três modelos escolhidos suportam velocidades máximas de ao menos 50 m/s (TABELA 2). Uma solução para reduzir gastos com a torre é posicionar o gerador acima de residências ou estruturas já construídas, dando o devido espaço para que as pás girem livremente com segurança.

### 3.4 TRATAMENTO DE DADOS

Para obter a velocidade do vento na altura da torre do gerador, será utilizada a equação (1), que segue a Lei exponencial de Hellmann.

$$v = vel \left( \frac{z}{za} \right)^\alpha, \quad [\text{m/s}] \quad (1)$$

onde *vel* representa a velocidade na altura de medição, *z* é a altura do microgerador, *za* a altura do anemômetro e  $\alpha$  o expoente de Hellmann. Por se tratar de uma ilha, o expoente de Hellmann utilizado será de 0,14, adequado para um local plano, como regiões costeiras (DÍEZ, 1993).

A função de distribuição de probabilidade de Weibull, será ajustada aos dados de vento da estação:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left( \frac{v}{c} \right)^{k-1} \exp \left[ - \left( \frac{v}{c} \right)^k \right] \quad (2)$$

A equação (2) necessita do parâmetro de forma (*k*) e do parâmetro de escala (*c*). Tais parâmetros são definidos pelas equações (3) e (4), sendo  $\sigma$  o desvio padrão da velocidade do vento, *mv* a velocidade média do vento e  $\Gamma$  a função gama:

$$k = \frac{\sigma^{-1,806}}{mv}, \quad (3)$$

$$c = \frac{mv}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)}, \quad [\text{m/s}] \quad (4)$$

Segundo a Lei de Betz, o rendimento das turbinas eólicas é crescente conforme a velocidade de rotação, mas devido a perdas como dissipação do vento, atrito do rotor ou falhas anatômicas nenhum sistema eólico poderia aproveitar mais que 59,25% da energia provinda da rotação (DÍEZ, 1993).

Para calcular a potência do vento gerada utilizou-se equação (5), onde  $\rho$  é a densidade do ar, *A* é a área do rotor, *v* a velocidade do vento e *C<sub>p</sub>* o coeficiente de potência de Betz (PINTO & SANTOS NETO, 2012):

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p. \quad [W] \quad (5)$$

Ari et al. (2015) apontam que para microgeradores, o coeficiente de Betz varia entre 20 e 30%, enquanto Chaudhary & Roy (2015) encontraram valores variando entre 40 e 46% para geradores de pequeno porte com 3 pás. Como o coeficiente não foi informado nos microgeradores e com o avanço tecnológico o coeficiente tende a melhorar cada vez mais, foi utilizado o valor máximo possível, de 59%.

A densidade do ar será calculada utilizando os valores de temperatura e pressão da região estudada, através Lei dos gases ideais:

$$P_{atm} V = n R T. \quad (6)$$

O número de mol ( $n$ ) de uma substância é calculado através da equação (7).

$$n = \frac{m}{M}, \quad [mol] \quad (7)$$

onde  $m$  é a massa [g] da substância e  $M$  é a massa molar [g/mol].

Como:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad [kg/m^3] \quad (8)$$

Rearranjando as equações (6), (7) e (8), obtém-se:

$$\rho = \frac{M P_{atm}}{R T}, \quad [kg/m^3] \quad (9)$$

onde  $M$  é a massa molar aproximada dos gases na atmosfera,  $P_{atm}$  a pressão atmosférica,  $R$  a constante universal dos gases e  $T$  a temperatura. O valor médio de  $\rho$  calculado para a série de dados foi de 1,15 kg/m<sup>3</sup>.

Para o cálculo da Energia Elétrica produzida para a potência  $P$  [W], no tempo [h], utilizou-se a equação (10):

$$E = \frac{P t}{1000}. \quad [kWh] \quad (10)$$

Por fim, para calcular o valor da energia elétrica, foi utilizada a equação (11).

$$V_{Energia} = E V_{kWh}, \quad [R\$] \quad (11)$$

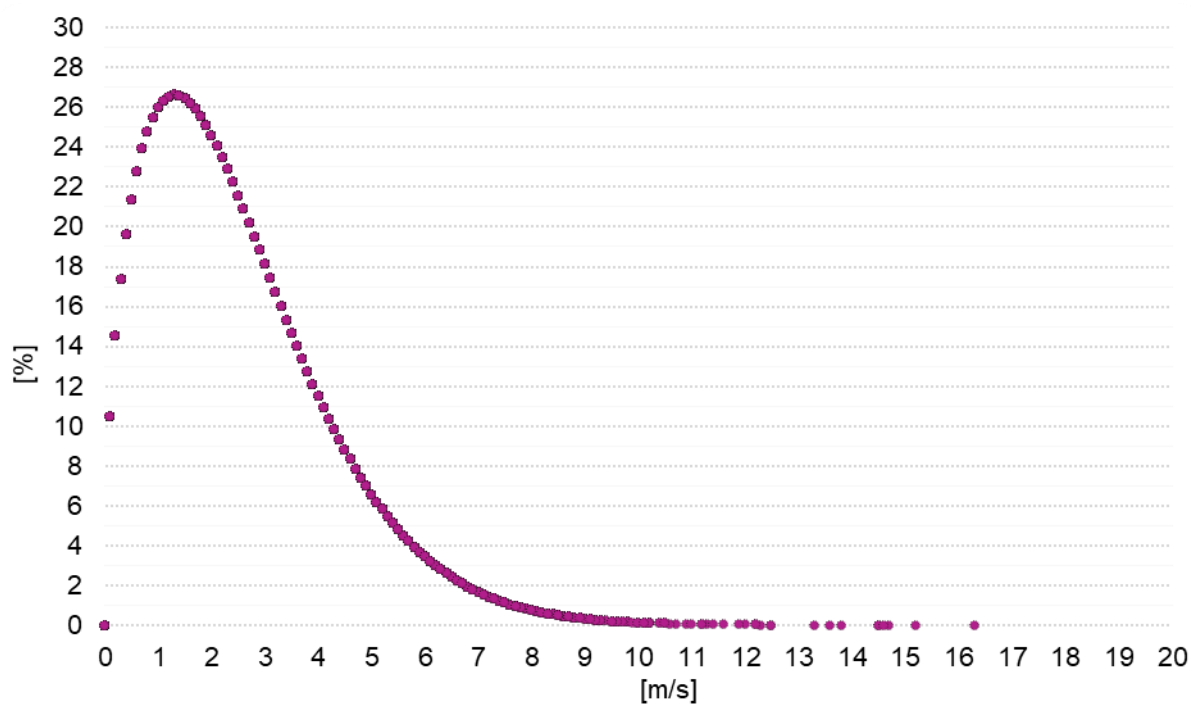
onde  $V_{kWh}$  é o valor cobrado por 1 kWh pela companhia de energia.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 COMPORTAMENTO DO VENTO

A distribuição de Weibull é uma forma de avaliar a disposição de ocorrências de uma série de dados de velocidade do vento. Com as equações (3) e (4), foram obtidos os valores de 1,482 para  $k$  e 2,794 para  $c$ . O GRÁFICO 1, criado a partir da série histórica de dados de velocidade do vento e dos parâmetros  $k$  e  $c$ , demonstra que 26,56% dos dados se dão na velocidade de 1,4 m/s.

GRÁFICO 1 – DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL PARA VELOCIDADE DO VENTO [m/s]

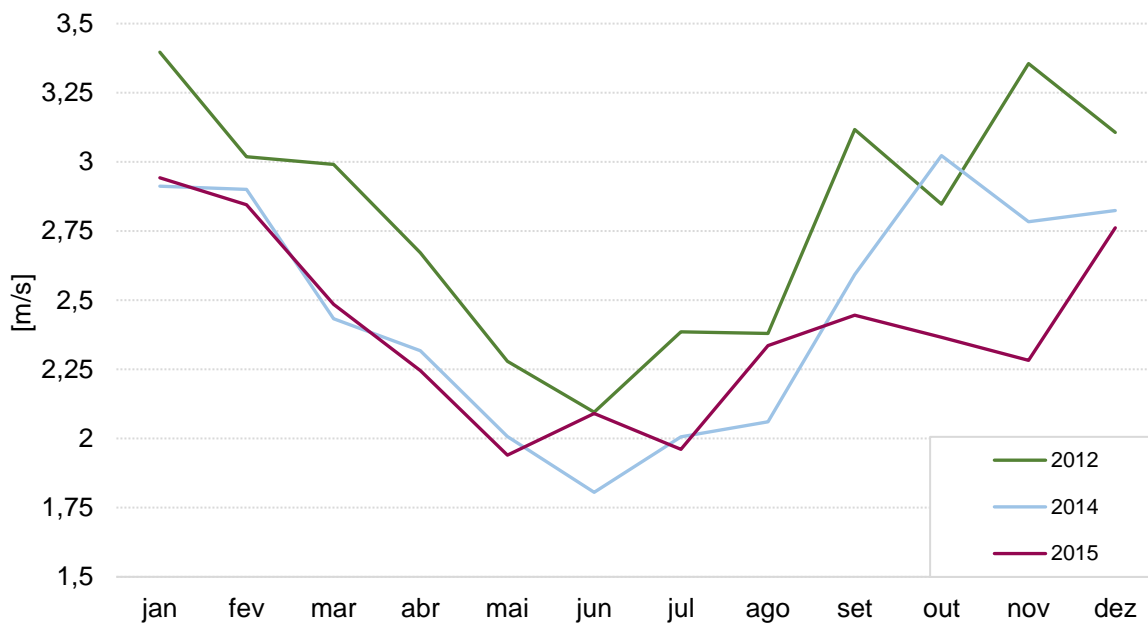


FONTE: Adaptado de INMET (2022)

Devido às falhas de medições na estação automática da Ilha do Mel, observada na TABELA 1, para análise de comportamento da velocidade do vento durante os meses do ano, ilustrada no GRÁFICO 2, e durante as horas do dia, representada no GRÁFICO 3, foram analisados apenas os anos com menor números de falhas: 2012, 2014 e 2015.

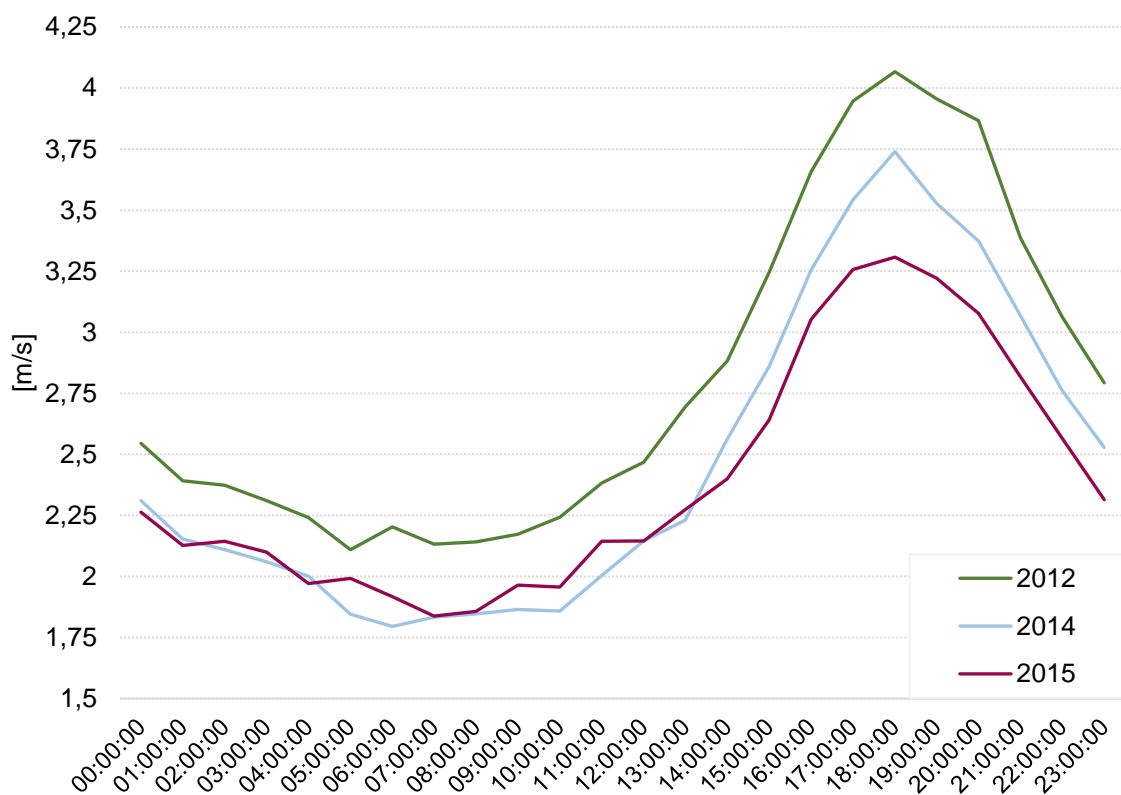


GRÁFICO 2 – VELOCIDADE MÉDIA MENSAL DO VENTO NOS ANOS COM MENORES QUANTIDADES DE FALHAS DE OPERAÇÃO NA ESTAÇÃO METEREOLÓGICA



FONTE: Adaptado de INMET (2022)

GRÁFICO 3 – VELOCIDADE MÉDIA HORÁRIA NOS ANOS COM MENORES QUANTIDADES DE FALHAS NA OPERAÇÃO DA ESTAÇÃO METEREOLÓGICA



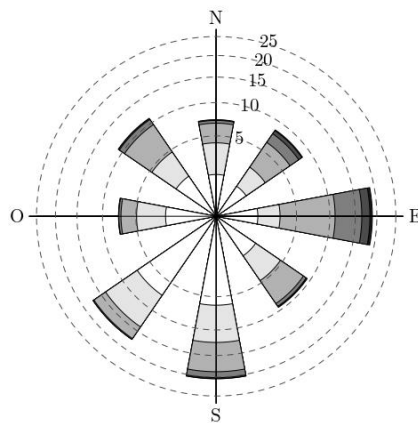
FONTE: Adaptado de INMET (2022)

Pode-se observar um padrão no comportamento da velocidade do vento nos meses do ano: no inverno, as velocidades são mais baixas, enquanto nos meses de verão são mais altas. O ano de 2012 apresentou as maiores médias, com pico de média de maior velocidade em janeiro, com 3,4 m/s. Em 2014, apresentou as médias mais baixas, com 1,4 m/s no mês de junho, enquanto, em 2012, a média nesse mês foi de 2,1 m/s. Já no ano de 2015, as médias foram mais próximas aos valores para 2014, mas, em novembro, o valor médio foi muito baixo se comparado aos outros anos, de apenas 2,28 m/s, contra 2,78 e 3,35 m/s para 2014 e 2012, respectivamente.

Analisando o GRÁFICO 3, pode-se notar que as maiores incidências de ventos ocorrem por volta das 18h às 19h, padrão que se mantém nos três anos analisados. Isso condiz com movimentos de brisas terrestres, nos quais o mar se encontra com temperatura mais elevada do que o solo, forçando o movimento do vento da zona com maior pressão para a zona com menor pressão. Durante as primeiras horas da manhã, momento em que acontecem as brisas diurnas, não ocorrem grandes variações na velocidade do vento, sinalizando que as brisas noturnas possuem maior influência na geração de energia do que as diurnas.

Para melhor visualização da ação das brisas, foram geradas 3 rosas dos ventos. A FIGURA 4 traz uma rosa dos ventos geral, que exprime o comportamento do vento através da direção de medição e sua velocidade. Pode-se observar que a maior parte dos ventos provém das direções sul e leste. A FIGURA 5 ilustra a ação dos ventos durante o dia, considerando os horários com radiação solar, onde há predominância dos ventos vindos da direção leste. A FIGURA 6 demonstra a ação do vento durante a noite, nos horários em que não houve registros de radiação solar. Os ventos predominantes durante a noite também são de leste, mas assim como na análise diurna, há também relevância nos ventos vindos da direção sul.

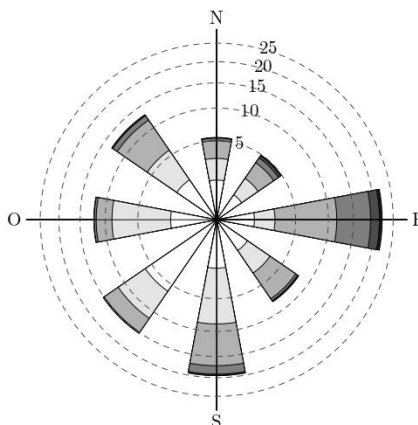
FIGURA 4 – ROSA DOS VENTOS GERAL



○ 0-1m/s    ○ 1-2m/s    ○ 2-4m/s    ○ 4-6m/s    ○ 6-8m/s    ● maior-que-8m/s

FONTE: Adaptado de INMET (2022)

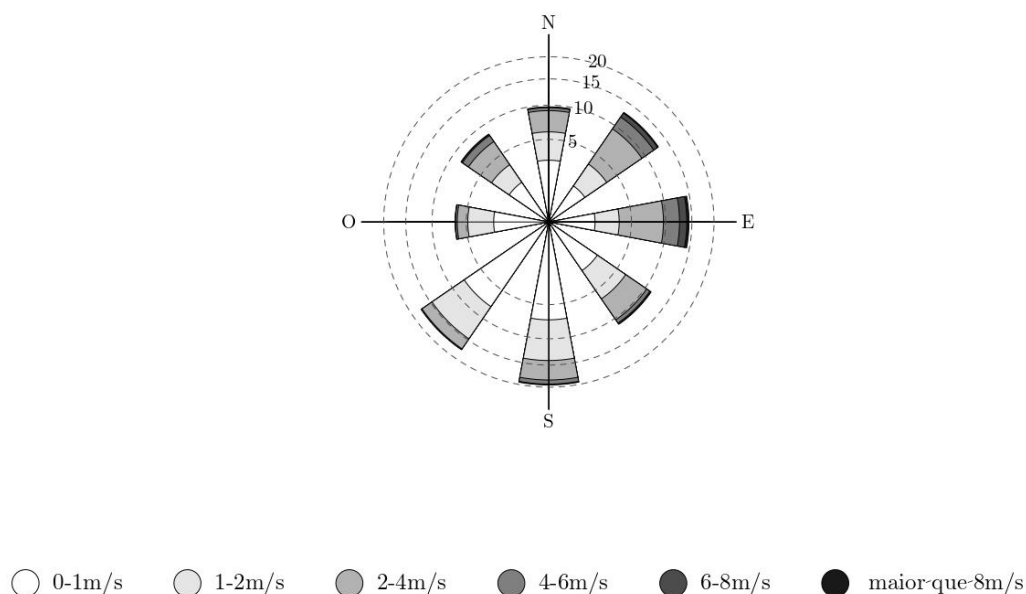
FIGURA 5 – ROSA DOS VENTOS DIURNA



○ 0-1m/s    ○ 1-2m/s    ○ 2-4m/s    ○ 4-6m/s    ○ 6-8m/s    ● maior-que-8m/s

FONTE: Adaptado de INMET (2022)

FIGURA 6 – ROSA DOS VENTOS NOTURNA



FONTE: Adaptado de INMET (2022)

A partir da análise das rosas e do mapa da Ilha do Mel (FIGURA 1) identifica-se que durante a noite (FIGURA 6) grande parte dos ventos provém de brisas terrestres, da costa em direção ao mar, principalmente da direção sul e sudoeste. Essa observação se alinha ao resultado observado a partir do GRÁFICO 3, da maior ação de brisas durante a noite. Entretanto, mesmo durante o dia (FIGURA 5) é possível observar ventos vindos da costa, mas em menor intensidade, sendo os ventos vindos da direção leste, provenientes do mar, os mais intensos.

#### 4.2 RESULTADOS DA EXTRAPOLAÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO

Os valores reais de média do vento para as alturas extrapoladas estão dispostos na TABELA 3, mas não são interessantes para cálculos de potência e energia elétrica por considerarem que há produção de energia durante momentos em que as pás do gerador não estariam girando. Portanto, para a análise mais condizente com a realidade, foram considerados nos cálculos os valores de velocidade mínima para início de rotação nas pás, sendo ignorados todos os valores inferiores a ele. Assim, os valores de velocidade média do vento expressos da TABELA 4 à TABELA 6 representam valores adaptados ao funcionamento do microgerador.

TABELA 3 – EXTRAPOLAÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO PARA DIFERENTES ALTURAS

Altura [m]	V <sub>média</sub> [m/s]	Desvio padrão
1*	2,527	1,759
5	4,811	3,348
10	6,348	4,417
15	7,466	5,195
20	8,377	5,829
25	9,159	6,373
30	9,852	6,855
35	10,478	7,291
40	11,053	7,691

FONTE: Adaptado de INMET (2022)

NOTA: \* Medição da estação automática do INMET, sem extrapolação.

TABELA 4 – CÁLCULOS PARA O MICROGERADOR SS-1000

(continua)

Altura [m]	V <sub>média</sub> [m/s]	Desvio padrão	t <sub>prod.energia</sub> [%]	P <sub>média</sub> [W]	E <sub>10 anos</sub> [kWh]	E <sub>1 ano</sub> [kWh]	E <sub>1 mês</sub> [kWh]	E <sub>1 dia</sub> [kWh]
2	3,33	1,77	80,03	13,21	1156,88	115,69	9,51	0,32
3	3,53	1,88	80,03	15,66	1371,66	137,17	11,27	0,38
4	3,60	1,97	82,43	17,17	1503,75	150,38	12,36	0,41
5	3,72	2,03	82,43	18,85	1651,50	165,15	13,57	0,45
6	3,81	2,08	82,43	20,35	1782,93	178,29	14,65	0,49
7	3,84	2,14	84,46	21,20	1857,22	185,72	15,27	0,51
8	3,91	2,18	84,46	22,42	1964,35	196,44	16,15	0,54
9	3,97	2,21	84,46	23,56	2063,97	206,40	16,96	0,57
10	4,03	2,25	84,46	24,63	2157,36	215,74	17,73	0,59
11	4,09	2,28	84,46	25,63	2245,47	224,55	18,46	0,62
12	4,14	2,30	84,46	26,59	2329,04	232,90	19,14	0,64
13	4,18	2,33	84,46	27,50	2408,67	240,87	19,80	0,66
14	4,16	2,37	86,28	27,78	2433,07	243,31	20,00	0,67
15	4,20	2,39	86,28	28,59	2504,61	250,46	20,59	0,69
16	4,24	2,41	86,28	29,38	2573,43	257,34	21,15	0,71
17	4,28	2,43	86,28	30,14	2639,79	263,98	21,70	0,72
18	4,31	2,45	86,28	30,87	2703,93	270,39	22,22	0,74
19	4,35	2,47	86,28	31,58	2766,04	276,60	22,74	0,76
20	4,38	2,49	86,28	32,26	2826,27	282,63	23,23	0,77

TABELA 4 – CÁLCULOS PARA O MICROGERADOR SS-1000

(conclusão)

Altura [m]	V <sub>média</sub> [m/s]	Desvio padrão	t <sub>prod.energia</sub> [%]	P <sub>média</sub> [W]	E <sub>10 anos</sub> [kWh]	E <sub>1 ano</sub> [kWh]	E <sub>1 mês</sub> [kWh]	E <sub>1 dia</sub> [kWh]
21	4,41	2,51	86,28	32,93	2884,78	288,48	23,71	0,79
22	4,44	2,52	86,28	33,58	2941,70	294,17	24,18	0,81
23	4,46	2,54	86,28	34,21	2997,14	299,71	24,63	0,82
24	4,49	2,55	86,28	34,83	3051,19	305,12	25,08	0,84
25	4,52	2,57	86,28	35,43	3103,96	310,40	25,51	0,85
26	4,54	2,58	86,28	36,02	3155,51	315,55	25,94	0,87
27	4,57	2,60	86,28	36,60	3205,93	320,59	26,35	0,88
28	4,59	2,61	86,28	37,16	3255,27	325,53	26,76	0,89
29	4,61	2,62	86,28	37,71	3303,61	330,36	27,15	0,91
30	4,63	2,63	86,28	38,25	3350,98	335,10	27,54	0,92
31	4,65	2,65	86,28	38,78	3397,45	339,75	27,92	0,93
32	4,67	2,66	86,28	39,30	3443,06	344,31	28,30	0,94
33	4,64	2,68	87,84	39,12	3426,61	342,66	28,16	0,94
34	4,65	2,69	87,84	39,61	3469,84	346,98	28,52	0,95
35	4,67	2,71	87,84	40,10	3512,35	351,24	28,87	0,96
36	4,69	2,72	87,84	40,57	3554,15	355,42	29,21	0,97
37	4,71	2,73	87,84	41,04	3595,29	359,53	29,55	0,99
38	4,73	2,74	87,84	41,50	3635,78	363,58	29,88	1,00
39	4,74	2,75	87,84	41,96	3675,67	367,57	30,21	1,01
40	4,76	2,76	87,84	42,41	3714,96	371,50	30,53	1,02

FONTE: Adaptado de INMET (2022)

TABELA 5 – CÁLCULOS PARA O GERADOR MASTERX

(continua)

Altura [m]	V <sub>média</sub> [m/s]	Desvio padrão	t <sub>prod.energia</sub> [%]	P <sub>média</sub> [W]	E <sub>10 anos</sub> [kWh]	E <sub>1 ano</sub> [kWh]	E <sub>1 mês</sub> [kWh]	E <sub>1 dia</sub> [kWh]
2	3,90	1,71	59,78	69,60	6096,49	609,65	50,11	1,67
3	4,03	1,82	62,79	78,87	6909,18	690,92	56,79	1,89
4	4,10	1,90	65,66	85,37	7478,21	747,82	61,47	2,05
5	4,13	1,97	68,71	89,84	7869,97	787,00	64,69	2,16
6	4,24	2,03	68,71	96,99	8496,29	849,63	69,83	2,33
7	4,33	2,07	68,71	103,48	9064,56	906,46	74,50	2,48
8	4,31	2,12	71,79	104,99	9197,25	919,73	75,59	2,52

TABELA 5 – CÁLCULOS PARA O GERADOR MASTERX

(conclusão)

Altura [m]	V <sub>média</sub> [m/s]	Desvio padrão	t <sub>prod.energia</sub> [%]	P <sub>média</sub> [W]	E <sub>10 anos</sub> [kWh]	E <sub>1 ano</sub> [kWh]	E <sub>1 mês</sub> [kWh]	E <sub>1 dia</sub> [kWh]
9	4,38	2,16	71,79	110,32	9663,67	966,37	79,43	2,65
10	4,45	2,19	71,79	115,31	10100,91	1010,09	83,02	2,77
11	4,51	2,22	71,79	120,02	10513,45	1051,35	86,41	2,88
12	4,56	2,24	71,79	124,48	10904,77	1090,48	89,63	2,99
13	4,51	2,28	74,74	123,88	10851,73	1085,17	89,19	2,97
14	4,56	2,30	74,74	127,80	11194,80	1119,48	92,01	3,07
15	4,60	2,33	74,74	131,55	11523,94	1152,39	94,72	3,16
16	4,64	2,35	74,74	135,17	11840,58	1184,06	97,32	3,24
17	4,68	2,37	74,74	138,65	12145,94	1214,59	99,83	3,33
18	4,72	2,39	74,74	142,02	12441,05	1244,11	102,26	3,41
19	4,76	2,41	74,74	145,28	12726,80	1272,68	104,60	3,49
20	4,79	2,42	74,74	148,45	13003,95	1300,40	106,88	3,56
21	4,82	2,44	74,74	151,52	13273,17	1327,32	109,10	3,64
22	4,75	2,47	77,48	149,23	13072,58	1307,26	107,45	3,58
23	4,78	2,48	77,48	152,04	13318,93	1331,89	109,47	3,65
24	4,81	2,50	77,48	154,79	13559,15	1355,92	111,45	3,72
25	4,84	2,51	77,48	157,46	13793,63	1379,36	113,37	3,78
26	4,87	2,53	77,48	160,08	14022,73	1402,27	115,26	3,84
27	4,89	2,54	77,48	162,63	14246,77	1424,68	117,10	3,90
28	4,92	2,55	77,48	165,14	14466,05	1446,61	118,90	3,96
29	4,94	2,57	77,48	167,59	14680,84	1468,08	120,66	4,02
30	4,96	2,58	77,48	169,99	14891,37	1489,14	122,40	4,08
31	4,99	2,59	77,48	172,35	15097,87	1509,79	124,09	4,14
32	5,01	2,60	77,48	174,66	15300,54	1530,05	125,76	4,19
33	5,03	2,61	77,48	176,94	15499,57	1549,96	127,39	4,25
34	5,05	2,62	77,48	179,17	15695,13	1569,51	129,00	4,30
35	5,07	2,63	77,48	181,36	15887,38	1588,74	130,58	4,35
36	5,09	2,64	77,48	183,52	16076,47	1607,65	132,14	4,41
37	5,11	2,65	77,48	185,65	16262,54	1626,25	133,67	4,46
38	5,13	2,66	77,48	187,74	16445,72	1644,57	135,17	4,51
39	5,05	2,69	80,03	183,93	16112,49	1611,25	132,43	4,41
40	5,07	2,70	80,03	185,90	16284,74	1628,47	133,85	4,46

FONTE: Adaptado de INMET (2022)

TABELA 6 – CÁLCULOS PARA O MICROGERADOR NE-3K

(continua)

Altura [m]	V <sub>média</sub> [m/s]	Desvio padrão	t <sub>prod.energia</sub> [%]	P <sub>média</sub> [W]	E <sub>10 anos</sub> [kWh]	E <sub>1 ano</sub> [kWh]	E <sub>1 mês</sub> [kWh]	E <sub>1 dia</sub> [kWh]
2	3,90	1,71	59,78	213,13	18670,48	1867,05	153,46	5,12
3	4,03	1,82	62,79	241,55	21159,37	2115,94	173,91	5,80
4	4,10	1,90	65,66	261,44	22902,01	2290,20	188,24	6,28

TABELA 6 – CÁLCULOS PARA O MICROGERADOR NE-3K

(conclusão)

Altura [m]	V <sub>média</sub> [m/s]	Desvio padrão	t <sub>prod.energia</sub> [%]	P <sub>média</sub> [W]	E <sub>10 anos</sub> [kWh]	E <sub>1 ano</sub> [kWh]	E <sub>1 mês</sub> [kWh]	E <sub>1 dia</sub> [kWh]
5	4,13	1,97	68,71	275,13	24101,78	2410,18	198,10	6,60
6	4,24	2,03	68,71	297,03	26019,87	2601,99	213,86	7,13
7	4,33	2,07	68,71	316,90	27760,21	2776,02	228,17	7,61
8	4,31	2,12	71,79	321,54	28166,59	2816,66	231,51	7,72
9	4,38	2,16	71,79	337,84	29595,00	2959,50	243,25	8,11
10	4,45	2,19	71,79	353,13	30934,03	3093,40	254,25	8,48
11	4,51	2,22	71,79	367,55	32197,45	3219,75	264,64	8,82
12	4,56	2,24	71,79	381,23	33395,86	3339,59	274,49	9,15
13	4,51	2,28	74,74	379,38	33233,41	3323,34	273,15	9,11
14	4,56	2,30	74,74	391,37	34284,08	3428,41	281,79	9,39
15	4,60	2,33	74,74	402,88	35292,06	3529,21	290,07	9,67
16	4,64	2,35	74,74	413,95	36261,78	3626,18	298,04	9,94
17	4,68	2,37	74,74	424,62	37196,94	3719,69	305,73	10,19
18	4,72	2,39	74,74	434,94	38100,72	3810,07	313,16	10,44
19	4,76	2,41	74,74	444,93	38975,82	3897,58	320,35	10,68
20	4,79	2,42	74,74	454,62	39824,59	3982,46	327,33	10,91
21	4,82	2,44	74,74	464,03	40649,09	4064,91	334,10	11,14
22	4,75	2,47	77,48	457,02	40034,77	4003,48	329,05	10,97
23	4,78	2,48	77,48	465,63	40789,23	4078,92	335,25	11,18
24	4,81	2,50	77,48	474,03	41524,89	4152,49	341,30	11,38
25	4,84	2,51	77,48	482,23	42242,98	4224,30	347,20	11,57
26	4,87	2,53	77,48	490,24	42944,60	4294,46	352,97	11,77
27	4,89	2,54	77,48	498,07	43630,74	4363,07	358,61	11,95
28	4,92	2,55	77,48	505,73	44302,29	4430,23	364,13	12,14
29	4,94	2,57	77,48	513,24	44960,07	4496,01	369,54	12,32
30	4,96	2,58	77,48	520,60	45604,82	4560,48	374,83	12,49
31	4,99	2,59	77,48	527,82	46237,22	4623,72	380,03	12,67
32	5,01	2,60	77,48	534,91	46857,90	4685,79	385,13	12,84
33	5,03	2,61	77,48	541,87	47467,42	4746,74	390,14	13,01
34	5,05	2,62	77,48	548,70	48066,33	4806,63	395,07	13,17
35	5,07	2,63	77,48	555,42	48655,10	4865,51	399,91	13,33
36	5,09	2,64	77,48	562,03	49234,19	4923,42	404,67	13,49
37	5,11	2,65	77,48	568,54	49804,03	4980,40	409,35	13,65
38	5,13	2,66	77,48	574,94	50365,01	5036,50	413,96	13,80
39	5,05	2,69	80,03	563,29	49344,51	4934,45	405,57	13,52
40	5,07	2,70	80,03	569,32	49872,01	4987,20	409,91	13,66

FONTE: Adaptado de INMET (2022)

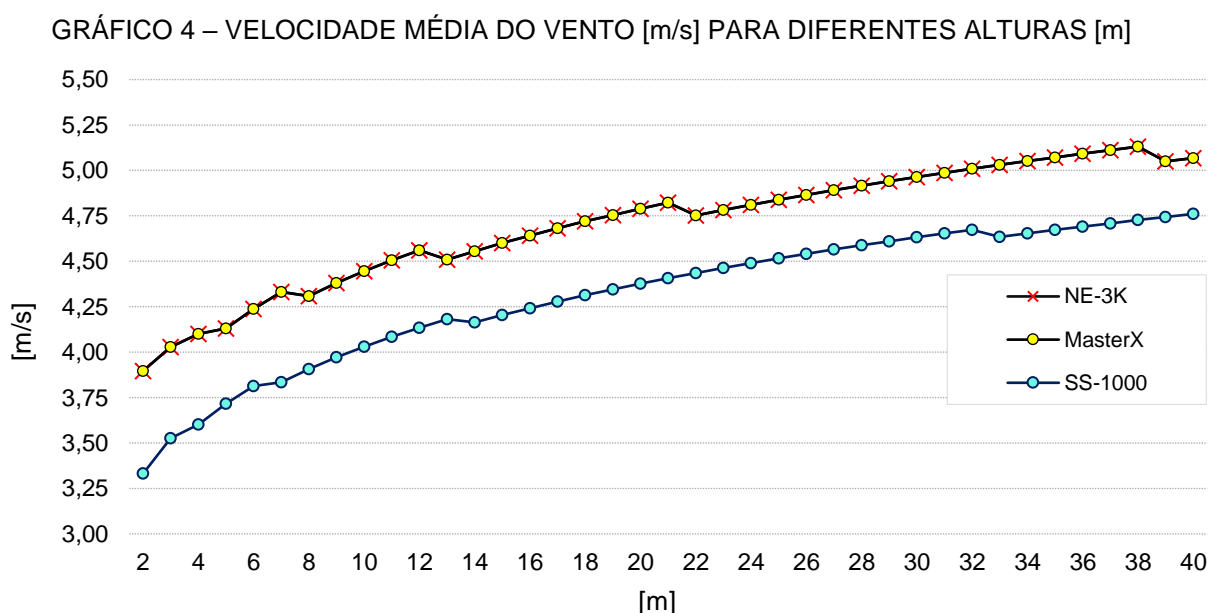
A velocidade média do vento calculada, disposta na TABELA 3, de 2,527 m/s, é maior do que a velocidade mais frequente segundo a distribuição de Weibull



(GRÁFICO 1). Isso significa que as ocorrências maiores que a velocidade de 1,4 m/s possuem grande influência na média geral dos dados.

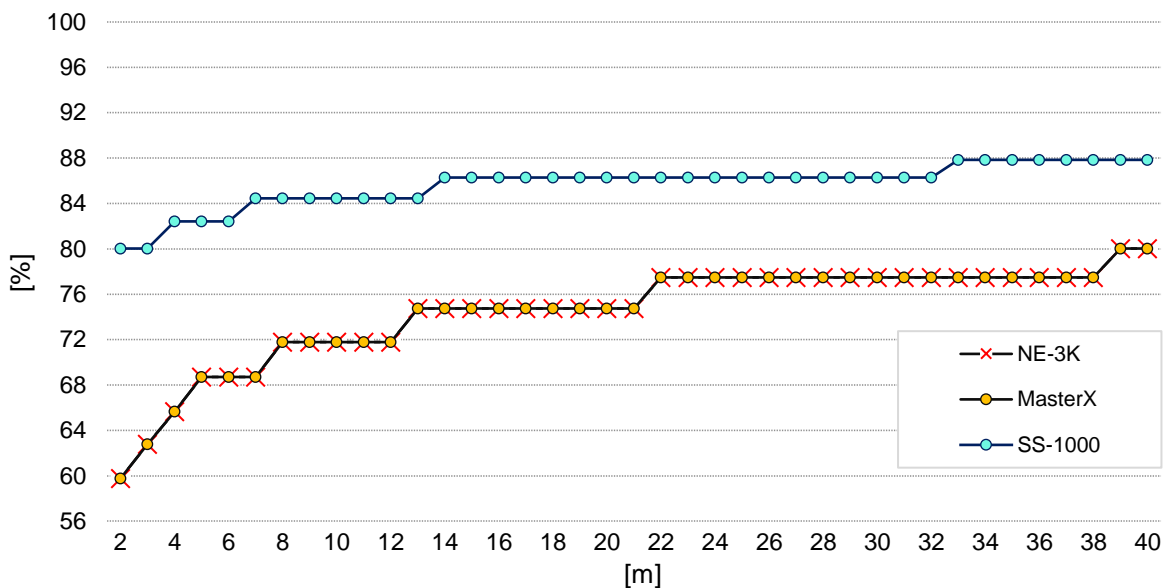
A TABELA 4 traz resultados dos cálculos realizados para as alturas de 2 a 40 m para o microgerador SS-1000. A velocidade média do vento varia de 3,33 a 4,76 m/s. O percentual do tempo em que há produção de energia, quando a velocidade do vento é igual ou maior à velocidade em que as pás giram, começa com percentual interessante na altura de 2 m, de 80%, chegando a 87,84% a partir de 33 m de altura. Entretanto, a potência média calculada e, conseqüentemente, a produção de energia, apresentam valores muito inferiores aos resultados dos demais microgeradores.

Analisando as colunas 1 a 4 da TABELA 5, com os cálculos do microgerador MasterX e a TABELA 6, com cálculos do NE-3K, pode-se observar que os dois microgeradores possuem os mesmos valores de velocidade média (variando de 3,9 a 5,07 m/s), de desvio padrão e de percentual do tempo em que as pás giram, o qual começa em cerca de 60% e atinge 80% a 39 m de altura. Essas colunas se repetem por conta de ambos começarem a girar as pás a 2 m/s, uma vez que as equações utilizadas dependem da velocidade média do vento. Essas observações podem ser visualizadas mais claramente no GRÁFICO 4, que demonstra a comparação das velocidades médias para os três microgeradores estudados, e no GRÁFICO 5, onde estão representados os percentuais de tempo em que as pás estão girando.



FONTE: Adaptado de INMET (2022)

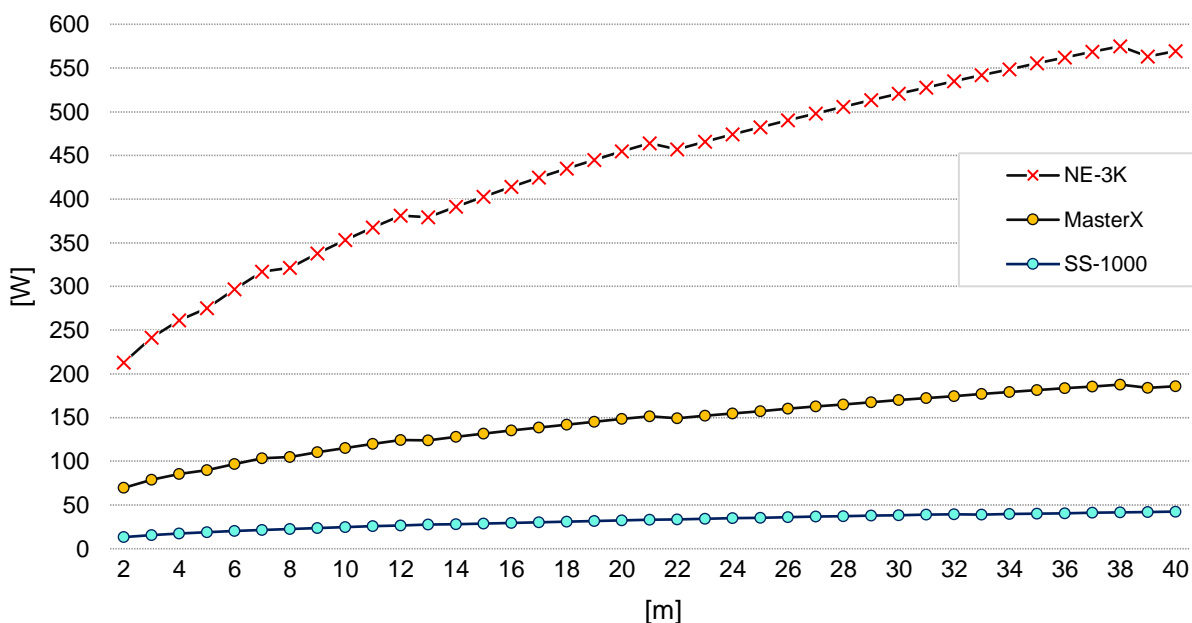
GRÁFICO 5 – PORCENTAGEM DE TEMPO EM QUE HÁ PRODUÇÃO DE ENERGIA [%] PARA DIFERENTES ALTURAS [m]



FONTE: Adaptado de INMET (2022)

O GRÁFICO 6 evidencia que, mesmo sob velocidades médias iguais e produzindo energia durante o mesmo período, dois geradores podem atingir potências médias muito distintas, como é o caso para o NE-3K e o MasterX, cuja principal diferença é o diâmetro do rotor. Portanto, o tamanho das pás se mostra uma variável muito importante na escolha de um microgerador eólico.

GRÁFICO 6 – POTÊNCIA MÉDIA [W] PARA DIFERENTES ALTURAS [m]



FONTE: Adaptado de INMET (2022)

A potência máxima dos geradores é de 3000 W para o NE-3K e 1000 W para o MasterX e SS-1000. A potência do gerador não se mostrou relevante para as análises, uma vez que as médias da velocidade do vento são bem inferiores à velocidade nominal dos microgeradores (TABELA 2), onde a potência máxima é atingida.

Considerando que os microgeradores sejam posicionados acima de estruturas pré-existentes, como abordado no item 3.3, dentre os valores calculados para diferentes alturas, foram adotadas 3 delas pensando em diferentes cenários: uma residência de um andar, uma residência de dois andares e um prédio de 9 andares, sendo analisadas, respectivamente, as alturas de 10, 20 e 40 m. As alturas avaliadas são maiores do que o tamanho desses empreendimentos, por considerar uma folga de segurança entre o teto e o início das pás, para evitar acidentes ao ser necessário acessar o local de instalação da torre. Além disso, em alturas mais altas, a produção de energia é maior, sendo interessante posicionar o microgerador o mais elevado possível. É importante ressaltar que na Ilha do Mel não existem estruturas com altura elevada, mas o estudo pode ser interessante para regiões com características similares, além de também haver a possibilidade de se implantar uma estrutura em cima de um morro, por exemplo, onde não haja interferência de árvores sobre o vento que chega ao gerador.

Para calcular a economia acarretada pela instalação de um microgerador, foram utilizados os valores de produção de mensal de energia em kWh para as alturas de 10, 20 e 40 m para os três microgeradores estudados, dispostos da TABELA 4 à TABELA 6, multiplicados ao valor do kWh fornecido pela COPEL (2022), considerando a soma da tarifa de energia, de R\$ 0,316 e da tarifa de uso do sistema, de R\$ 0,545 para a classe residencial, com imposto, para o consumo intermediário (média entre o período de ponta e fora de ponta), totalizando R\$ 0,861 por kWh. A economia mensal para cada gerador, em diferentes alturas, está disposta na TABELA 7, que também demonstra o tempo necessário para repor o valor investido na obtenção do microgerador eólico.

TABELA 7 – ECONOMIA NO VALOR DA TARIFA DE ENERGIA PROPORCIONADA POR CADA GERADOR

Gerador	Altura [m]	Valor Gerador [R\$]	E <sub>1 mês</sub> [kWh]	Economia Mensal [R\$]	Tempo para repor o investimento [Anos]
<b>SS-1000</b>	10	2054,35	17,73	15,26	11,22
	20	2054,35	23,23	19,99	8,56
	40	2054,35	30,53	26,28	6,51
<b>MasterX</b>	10	3900,00	83,02	71,46	4,55
	20	3900,00	106,88	91,99	3,53
	40	3900,00	133,85	115,20	2,82
<b>NE-3K</b>	10	8545,47	254,25	218,84	3,25
	20	8545,47	327,33	281,73	2,53
	40	8545,47	409,91	352,81	2,02

FONTE: Adaptado de INMET (2022) e COPEL (2022)

Segundo FEDRIGO et al. (2009), a região Sul do Brasil é a que possui maior porcentagem de casas com as maiores rendas e a que mais consome energia elétrica no Brasil, em média 273 kWh no verão e 261 kWh no inverno por residência. Entretanto, a realidade varia de acordo com a classe social, e quando analisado por subzonas, é possível notar que em capitais e seu entorno, ou em grandes polos urbanos, o consumo é muito maior do que nas demais regiões. Utilizando como base de comparação os valores de consumo para a subzona onde se localiza o litoral paranaense, com consumo médio de 208,22 kWh e 210,63 kWh por residência, respectivamente, no verão e no inverno, o microgerador NE-3K é o que melhor atende essa demanda. Por conta da grande diferença no valor a ser investido, também é interessante avaliar o desempenho do MasterX, também capaz de trazer um retorno interessante a longo prazo, mas que não é capaz de abater totalmente o valor da fatura de energia elétrica mensal. O gerador SS-1000, por outro lado, apesar de ser o mais barato, não traz grandes benefícios mesmo em alturas elevadas, demorando muitos anos para que as economias na fatura de energia superem o investimento de instalação do microgerador.

É importante ressaltar que esta análise de custos não leva em consideração a inflação e a conseqüente desvalorização do dinheiro investido, o que pode aumentar o tempo em que as economias superem o valor do microgerador, mas também não é considerado o reajuste tarifário da conta de luz, que aumenta em momentos de crise hídrica, que tendem a se tornar cada vez mais comuns com as mudanças climáticas. Além disso, a possibilidade de vender a energia não utilizada, viável no caso do NE-

3K, caso o consumo mensal seja menor que a produção de energia, também pode reduzir o tempo para quitar o investimento.

Para verificar se o gerador NE-3K realmente é capaz de atender a demanda energética de uma família e se o MasterX pode ser viável como uma segunda opção mais barata, na TABELA 8 pode ser visualizada uma análise do comportamento do vento mês a mês para o ano de 2014, o único ano que não apresentou falhas nas medições da estação automática.

TABELA 8 – ANÁLISE MENSAL DA PRODUÇÃO DE ENERGIA PARA O ANO DE 2014

(continua)

Mês	Altura [m]	V <sub>média</sub> [m/s]	Desvio padrão	t <sub>prod.energia</sub> [%]	MasterX			NE-3K		
					P <sub>média</sub> [W]	E <sub>1 mês</sub> [kWh]	Economia Mensal [R\$]	P <sub>média</sub> [W]	E <sub>1 mês</sub> [kWh]	Economia Mensal [R\$]
1	10	4,83	2,246	77,524	136,647	98,386	84,71	418,48	301,306	259,42
	20	5,215	2,5	80,215	176,911	127,376	109,67	541,788	390,088	335,87
	40	5,542	2,807	84,926	223,901	161,208	138,80	685,696	493,701	425,08
2	10	4,946	1,912	74,516	122,938	88,516	76,21	376,499	271,079	233,40
	20	5,335	2,157	77,198	158,997	114,478	98,57	486,929	350,589	301,86
	40	5,569	2,504	84,054	195,886	141,038	121,43	599,9	431,928	371,89
3	10	4,124	1,84	72,678	81,519	58,693	50,53	249,651	179,749	154,76
	20	4,466	2,039	75,101	105,761	76,148	65,56	323,894	233,204	200,79
	40	4,693	2,288	81,696	130,594	94,028	80,96	399,944	287,96	247,93
4	10	3,942	1,673	71,766	69,677	50,168	43,19	213,387	153,639	132,28
	20	4,241	1,86	75,243	89,221	64,239	55,31	273,241	196,733	169,39
	40	4,424	2,091	83,31	108,43	78,069	67,22	332,065	239,087	205,85
5	10	3,765	1,581	59,219	60,938	43,875	37,78	186,622	134,368	115,69
	20	3,98	1,759	64,603	75,288	54,207	46,67	230,57	166,01	142,93
	40	4,073	1,965	74,832	87,83	63,238	54,45	268,98	193,666	166,75
6	10	3,564	1,599	54,242	55,467	39,936	34,38	169,867	122,304	105,30
	20	3,772	1,758	59,388	68,354	49,215	42,37	209,334	150,72	129,77
	40	3,884	1,935	68,428	80,209	57,751	49,72	245,641	176,861	152,28
7	10	3,689	1,616	64,872	60,756	43,744	37,66	186,064	133,966	115,34
	20	3,98	1,786	67,833	78,027	56,18	48,37	238,959	172,051	148,14
	40	4,184	1,99	74,293	95,849	69,011	59,42	293,538	211,347	181,97
8	10	3,897	1,918	63,795	83,061	59,804	51,49	254,375	183,15	157,69
	20	4,19	2,113	67,026	106,094	76,387	65,77	324,912	233,936	201,42
	40	4,384	2,338	73,755	129,553	93,278	80,31	396,757	285,665	245,96
9	10	4,746	2,523	68,15	153,651	110,629	95,25	470,556	338,8	291,71
	20	5,114	2,791	70,793	198,147	142,666	122,84	606,826	436,915	376,18
	40	5,431	3,098	75,104	250,242	180,174	155,13	766,365	551,783	475,09
10	10	5,114	2,488	76,985	167,918	120,901	104,10	514,248	370,258	318,79
	20	5,557	2,76	78,735	219,816	158,268	136,27	673,188	484,695	417,32
	40	5,926	3,091	82,773	280,056	201,641	173,61	857,673	617,524	531,69

TABELA 8 – ANÁLISE MENSAL DA PRODUÇÃO DE ENERGIA PARA O ANO DE 2014  
(conclusão)

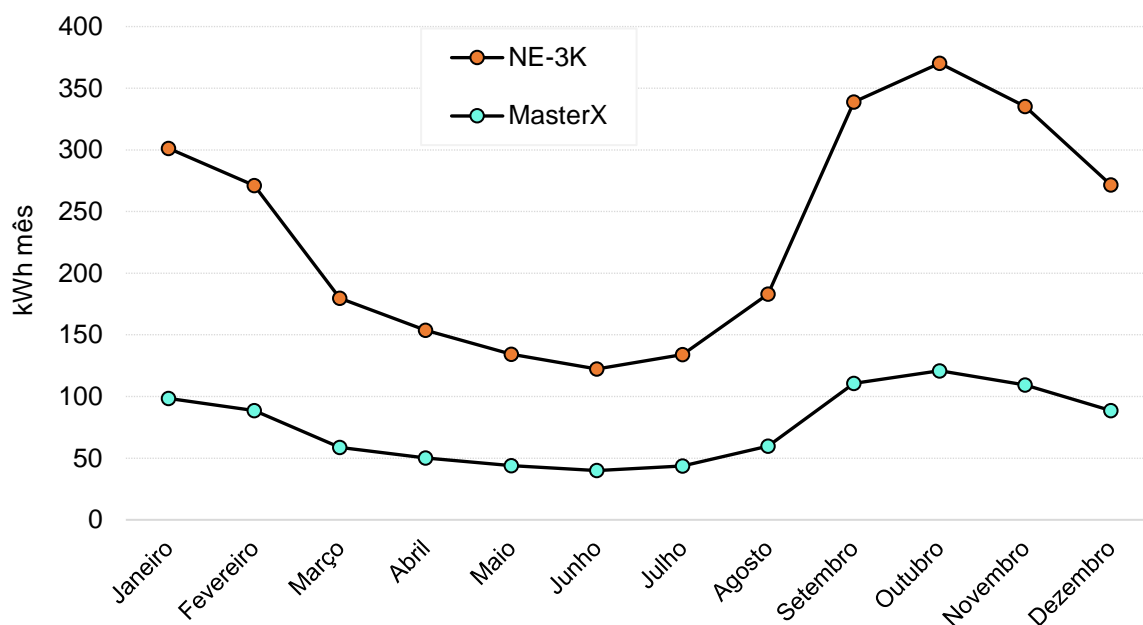
Mês	Altura [m]	V <sub>média</sub> [m/s]	Desvio padrão	t <sub>prod.energia</sub> [%]	MasterX			NE-3K		
					P <sub>média</sub> [W]	E <sub>1 mês</sub> [kWh]	Economia Mensal [R\$]	P <sub>média</sub> [W]	E <sub>1 mês</sub> [kWh]	Economia Mensal [R\$]
11	10	4,857	2,479	73,018	152,028	109,46	94,25	465,585	335,221	288,63
	20	5,251	2,747	75,382	197,23	142,006	122,27	604,017	434,892	374,44
	40	5,557	3,063	80,389	247,844	178,448	153,64	759,023	546,496	470,53
12	10	4,652	2,193	78,197	123,172	88,684	76,36	377,215	271,595	233,84
	20	5,051	2,431	80,215	160,815	115,787	99,69	492,495	354,597	305,31
	40	5,4	2,716	84,253	205,158	147,714	127,18	628,298	452,374	389,49

FONTE: Adaptado de INMET (2022)

Pode-se observar na TABELA 8 que, para a altura de 10 metros, de março até agosto não há produção de energia suficiente para suprir a demanda de uma residência, mas, nos demais meses, há produção de energia maior do que o necessário, podendo ser vendida ao ser enviada para a rede de distribuição municipal, ser armazenada em gerador de energia, suprir a demanda de residências onde haja consumo maior que a média para a região sul ou ser compartilhada entre moradores que vivam perto da residência onde está instalado o microgerador.

Há correlação direta entre a velocidade do vento e a energia produzida, podendo ser observado que o comportamento da curva de produção de energia (GRÁFICO 7) se assemelha muito à curva da velocidade do vento para o ano de 2014, exposta no GRÁFICO 2. Assim, o pico de produção de energia se deu no mês de dezembro, onde ocorreu a maior média de velocidade do vento no ano de 2014, de 5,114 m/s para a altura de 10 m.

GRÁFICO 7 – PRODUÇÃO DE ENERGIA MENSAL DURANTE OS MESES DO ANO DE 2014



FONTE: Adaptado de INMET (2022)

O GRÁFICO 7 torna evidente a diferença entre a produção de energia entre dois geradores que funcionam a partir da mesma velocidade, para a mesma altura, onde, em outubro, mês de maior produção de energia, seria gerado 67% a mais de kWh pelo NE-3K em relação ao MasterX, uma diferença de 249,35 kWh.

## 5 CONCLUSÃO

A adoção da produção de energia eólica através de geradores de pequeno porte é uma alternativa que pode trazer retorno financeiro quando aplicada em locais favoráveis, como as costas litorâneas. Na Ilha do Mel, há potencial para explorar essa fonte, mas é necessário se atentar às variáveis que cada modelo de microgerador eólico fornece e se elas condizem com as particularidades da região.

Analisando os resultados, pode-se observar que mesmo que a porcentagem de tempo em que o microgerador produz energia seja inferior para os modelos NE-3K e MasterX, a produção anual de energia nesses geradores continua sendo muito maior do que no modelo SS-1000. Isso significa que, em um cenário anual, esses geradores suprem a demanda energética de uma residência com consumo médio de cerca de 210 kWh por mês. No entanto, analisando a produção mensal e levando em conta os meses com menor velocidade do vento, para o ano de 2014, 6 meses do ano não atingiram o valor do consumo médio para a altura de 10 metros, enquanto os demais meses ultrapassaram esse valor. Em outubro houve produção de energia 43% maior do que a demanda média, o que traz a possibilidade de venda de energia elétrica sobressalente, reduzindo o tempo para o investimento passar a gerar lucro. Com os resultados, mostra-se evidente que o diâmetro do rotor é um parâmetro extremamente importante na escolha do microgerador, mas este não pode ser analisado de forma isolada, já que a velocidade em que as pás começam a girar deve ser condizente com o regime de ventos da região para que haja produção de energia.

A partir dos resultados, conclui-se que a obtenção de energia eólica por meio de microgeradores é viável na Ilha do Mel e que o microgerador NE-3K é o mais ideal para a região, pois na altura de 10 m já apresenta bons resultados para suprir o consumo médio de energia de uma residência durante a maior parte do ano. Caso exista a possibilidade, é interessante considerar alturas maiores, já que o custo-benefício também será superior no quesito de geração de energia.



## REFERÊNCIAS

ADMINISTRAÇÃO DOS PORTOS DE PARANAGUÁ E ANTONINA (APPA). Portos de Paranaguá e Antonina. Paranaguá, 2022. Disponível em:

<https://www.portosdoparana.pr.gov.br/FAQ/Portos-de-Paranagua-e-Antonina>.

Acesso em: 18 jul. 2022.

AHMADI, H.; MOHSENI, S.; AKMAL, A. S. Electromagnetic Fields Near Transmission Lines – Problems And Solutions. **Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering**, Tehran, v. 7, n. 2, p. 181-188, fev. 2010.

ALIEXPRESS. Turbina eólica geradora de energia, turbina para geração de energia, nova energia alternativa, acessórios para lâmpadas domésticas, 400w, 600w, 1000w, 12v/24v/48v. China, 2022a. Disponível em:

[https://pt.aliexpress.com/item/4001212854119.html?spm=a2g0o.ppclist.product.12.34d1pgnbpqnbUw&pdp\\_npi=2%40dis%21BRL%21R%24%202.042%2C92%21R%24%201.359%2C55%21%21%21%21%21%21%402103364716618002407464414e1a9a%2112000024726861055%21btf&t=pvid%3A4075e9d1-92a4-47de-a7ce-329a9b7b3be5&afTraceInfo=4001212854119\\_pc\\_pcBridgePPC\\_xxxxxx\\_1661800240&gatewayAdapt=glo2bra](https://pt.aliexpress.com/item/4001212854119.html?spm=a2g0o.ppclist.product.12.34d1pgnbpqnbUw&pdp_npi=2%40dis%21BRL%21R%24%202.042%2C92%21R%24%201.359%2C55%21%21%21%21%21%21%402103364716618002407464414e1a9a%2112000024726861055%21btf&t=pvid%3A4075e9d1-92a4-47de-a7ce-329a9b7b3be5&afTraceInfo=4001212854119_pc_pcBridgePPC_xxxxxx_1661800240&gatewayAdapt=glo2bra). Acesso em: 20 ago. 2022.

ALIEXPRESS. Turbina geradora de energia eólica, pequena, com controlador, luz led, indicador residencial, para rv, iate, energia solar, 400w, 12v/24v. China, 2022b. Disponível em:

[https://pt.aliexpress.com/item/1005003096808125.html?spm=a2g0o.ppclist.product.2\\_a2a7MlxXmXpe&pdp\\_npi=2%40dis%21BRL%21R%24%20887%2C11%21R%24%20616%2C81%21%21%21%21%21%21%402103364716618001311222557e1a9a%2112000024065587393%21btf&t=pvid%3A65288425-d960-406b-882f-6f80dd57ae5c&afTraceInfo=1005003096808125\\_pc\\_pcBridgePPC\\_xxxxxx\\_1661800131&gatewayAdapt=glo2bra](https://pt.aliexpress.com/item/1005003096808125.html?spm=a2g0o.ppclist.product.2_a2a7MlxXmXpe&pdp_npi=2%40dis%21BRL%21R%24%20887%2C11%21R%24%20616%2C81%21%21%21%21%21%21%402103364716618001311222557e1a9a%2112000024065587393%21btf&t=pvid%3A65288425-d960-406b-882f-6f80dd57ae5c&afTraceInfo=1005003096808125_pc_pcBridgePPC_xxxxxx_1661800131&gatewayAdapt=glo2bra). Acesso em: 20 ago. 2022.

AMAZON. 3000W Horizontal Wind Turbine 48v 96v 220v AXIS Permanent Magnet 3KW Wind Generator High Efficiency Free Power (3000W, 48V). EUA, 2022.

Disponível em: <https://www.amazon.com/dp/B08YN3CGV9?tag=attainableh0b-20&th=1>. Acesso em: 20 ago. 2022.

ARI, M.; KORKMAZ, F.; TOPALOGLU, I.; CICEK, A.; BEKTAS, E. Micro wind turbines and power performance analyses. In: International Scientific Conference, 2015, Gabrovo. **Anais...** Gabrovo: UNITECH, 2015. p. 59-62.

ALVES, J. J. A. **Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste do Brasil**. 2001. 125 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande (PB). Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/9311>. Acesso em: 26 maio 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). ANEEL regulamenta Conta-Covid para injetar liquidez no setor e amortecer aumento nas tarifas. Brasil, 2022. Disponível em: <bit.ly/2Vb6iAl>. Acesso em: 07 out. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Publicações - ANEEL, Boletim de Informações Gerais - 1º trimestre de 2019. Brasil, 2019. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/publicacoes>. Acesso em: 17 jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa N° 687, de 24 de Novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição. Brasil, 2015. Disponível em: [http://www.lex.com.br/legis\\_27047031\\_RESOLUCAO\\_NORMATIVA\\_N\\_687\\_DE\\_24\\_DE\\_NOVEMBRO\\_DE\\_2015.aspx](http://www.lex.com.br/legis_27047031_RESOLUCAO_NORMATIVA_N_687_DE_24_DE_NOVEMBRO_DE_2015.aspx). Acesso em: 28 out. 2020.

BARRETO, A. B. **Estudo do ciclo diário do vento à superfície no Nordeste do Brasil**. 2001. 36 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande (PB). Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/1847>. Acesso em: 10 jun. 2020.

BLOG OF UNION OF CONCERNED SCIENTISTS (UCS). **Heatwaves and COVID Mean Higher Home Electricity Bills; What do We do About That?**, 2020. Não paginado. Disponível em: <https://blog.ucsusa.org/joseph-daniel/heatwaves-covid-means-higher-electricity-bills>. Acesso em: 17 set. 2020.

BIANCHI, F. D.; BATTISTA, H.; MANTZ, R. J. **Wind Turbine Control Systems Principles, Modelling and Gain Scheduling Design**. Alemanha: Springer, 2007.

CANWEA – CANADIAN WIND ENERGY ASSOCIATION. **Small wind turbine purchasing guide : off-grid, residential, farm and small business applications**. Canadá, 2008. 16 p.

CARLI, D.; BRUNELLI, D.; BERTOZZI, D.; BENINI, L. A high-efficiency wind-flow energy harvester using micro turbine. In: International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2010, Pisa. **Anais...** New York: IEEE, 2010. p. 778-783.

CHAUDHARY, M.; ROY, A. Design & optimization of a small wind turbine blade for operation at low wind speed. **World Journal of Engineering**, UK, v.12, n.1, p. 83-94, fev. 2015.

CLAUSEN, P. D.; WOOD, D. H. Research and Development Issues for Small Wind Turbines. **Renewable Energy**, UK, v. 16, n. 1-4, p. 922-927, jan./ abr. 1999.

CONTE, K. C.; RAMPINELLI, G. A. Estimativa local do recurso e potencial eólico do litoral sul brasileiro a partir de dados de estações meteorológicas da rede INMET. In: Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente, XXIII., Huancayo, 2016.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (COPEL). Atlas do Potencial Eólico do Estado do Paraná. Paraná, 2007. Disponível em: [https://www.copel.com/download/mapa\\_eolico/Atlas\\_do\\_Potencial\\_Eolico\\_do\\_Estado\\_do\\_Parana.pdf](https://www.copel.com/download/mapa_eolico/Atlas_do_Potencial_Eolico_do_Estado_do_Parana.pdf). Acesso em: 25 jun. 2020.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (COPEL). Taxas e Tarifas – Copel. Tarifas de Energia Elétrica. Paraná, 2022. Disponível em: <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 02 set. 2022.

DÍEZ, P. F. **Energía eólica**. [s.l.], Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Universidad de Cantabria, Santander, Espanha. 1993. p. 136.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Publicações: Balanço Energético Nacional 2020. Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicações/balanco-energetico-nacional-2020>. Acesso em: 10 jun. 2020.

FEDRIGO, N. S.; GONÇALVES, G.; LUCAS, P. F.; GHISI, E. **Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais Sistemas Atmosféricos Atuantes Sobre a Região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima da Região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.1, n. 1, p. 15-28, dez. 2005.

G1. G1. SEM ENERGIA ELÉTRICA, 200 DOSES DE VACINAS SÃO PERDIDAS NO PARANÁ. Curitiba, 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2017/03/sem-energia-eletrica-200-doses-de-vacinas-sao-perdidas-no-parana.html>. Acesso em: 30 ago. 2022.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-25.48593013,-48.32143402,1.5999229a,5042.00860953d,30.00010657y,0h,0t,0r/data=MikKJwolCiExZFNkTmstb0JGQW1LeG5jM3JGaGsyUVF4SGxlU1ZCRIEgAQ>. Acesso em: 02 ago. 2022.

GUIMARÃES, E. Fatura de energia elétrica até 50% mais cara na pandemia de COVID: quem paga essa conta? – Economia – Estado de Minas. **Jornal Estado de Minas**, Belo Horizonte, 09 de jun. 2020. Disponível em: [https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2020/06/09/internas\\_economia,1155206/fatura-de-energia-eletrica-ate-50-mais-cara-na-pandemia-de-covid-que.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2020/06/09/internas_economia,1155206/fatura-de-energia-eletrica-ate-50-mais-cara-na-pandemia-de-covid-que.shtml). Acesso em: 28. set. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). IBGE – Cidades – Paraná – Paranaguá – Panorama. Brasil, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/paranagua/panorama>. Acesso em: 10 jul. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Malha Municipal. Downloads. Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 08 nov. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. INMET :: Mapa de Estações. Brasil, 2022. Disponível em: <https://mapas.inmet.gov.br/>. Acesso em: 30 ago. 2022.

INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS NA AMÉRICA LATINA (IDEAL). Guia de Microgeradores Eólicos. Brasil, 2014. Disponível em: <https://www.institutoideal.org/guiaeolica/>. Acesso em: 09 set. 2020.

JAMES, P. A. B.; BAHAJ, A. S. Small-Scale Wind Turbines. In: LETCHER, T. M. **A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines**. 1 ed. Cambridge: Academic Press, 2017. p. 389-418.

KIM, K. M. Avaliação da sustentabilidade do modelo de desenvolvimento vigente na Ilha do Mel – PR. Monografia de graduação (Bacharel em Ciências do Mar) - Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2004.

LEITE, M. R. S. G. **Circulações locais no Rio Grande do Sul: Brisas marítima/terrestre e sua interação com as Brisas lacustres/terrestres**. 2013. 105 p. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) – Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/6381>. Acesso em: 9 ago. 2020.

LETCHER, T. M. **A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines**. 1 ed. Cambridge: Academic Press, 2017.

LI, D.; WANG, S.; YUAN, P. A review of micro wind turbines in the built environment. In: APEEC - Power and Energy Engineering Conference, 2010. **Anais...** Chengdu: IEEE, 2010. p. 1-4.

MAZON, J.; ROJAS, J. I.; JOU, J.; VALLE, A.; OLMEDA, D.; SANCHEZ, C. An Assessment of the Sea Breeze Energy Potential Using Small Wind Turbines in Peri-urban Coastal Areas. **Journal of wind engineering and industrial aerodynamics**, v. 139, p. 1-7, abr. 2015.

MALDANER, S.; NASCIMENTO, A.; DEGRAZIA, G. A.; ROBERTI, D. R.; MOREIRA, V. S.; MARAN, V.; DIAZ, M.; STEFANELLO, M.; RIZZA, U. Avaliação do Potencial Eólico em uma Região do Sul do Brasil. In: Workshop Brasileiro De Micrometeorologia, 10., 2017, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFMS, 2017. p. 100-106.

MERCADO LIVRE. Aerogerador Turbina Eólica 600w 12v 5 Hélices Mppt Mars Rock. Brasil, 2022. Disponível em: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2223004308-aerogerador-turbina-eolica-600w-12v-5-helices-mppt-mars-rock-JM?matt\\_tool=18956390&utm\\_source=google\\_shopping&utm\\_medium=organic](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2223004308-aerogerador-turbina-eolica-600w-12v-5-helices-mppt-mars-rock-JM?matt_tool=18956390&utm_source=google_shopping&utm_medium=organic). Acesso em: 21 ago. 2022.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC). Domínio Público - Detalhe da Obra: Coleção Explorando o Ensino Geografia, volume VIII. Brasil, 2005. Disponível em: [http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=22369](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=22369). Acesso em: 17 jan. 2020.

MISHNAEVSKY JUNIOR, L.; FREERE, P.; SINHA, R.; ACHARYA, P.; SHRESTHA, R. Y.; MANANDHAR, P. Small wind turbines with timber blades for developing countries: Materials choice, development, installation and experiences. **Renewable Energy**, UK, v. 36, n. 8, p. 2128-2138, ago. 2011.

OBSERVATÓRIO DO LITORAL PARANAENSE. Observatório do Litoral Paranaense. Arquivos Shapefile. Paraná, 2022. Disponível em: <http://www.litoral.ufpr.br/portal/observatoriolitoral/geodados/arquivos-shapefile/>. Acesso em: 30 ago. 2022.

OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY. Next-Generation Wind Technology - Department of Energy. Next-Generation Wind Technology. Estados Unidos, 2022. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/wind/next-generation-wind-technology>. Acesso em: 10 ago. 2022.

OLIVEIRA, C. Energia mais cara em São Paulo impacta vida de 18 milhões de pessoas; entenda a conta. Brasil de Fato, São Paulo, 08 jul. 2020. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2020/07/08/energia-mais-cara-em-sao-paulo-impacta-vida-de-18-milhoes-de-pessoas-entenda-a-conta>. Acesso em: 07 out. 2020.

OLIVEIRA NETO, C. R.; LIMA, E. C. Novas perspectivas de desenvolvimento: uma análise da energia eólica no Brasil. **Revista Grifos**, Chapecó, v.25, n. 41, p. 304-324, mar. 2017.

OLIVEIRA JUNIOR, J. F. O.; SOUZA, J. C. S.; DIAS, F. O.; GOIS, G.; GONÇALVES, I. F. S.; SILVA, M. S. Caracterização do Regime de Vento no Município de Seropédica, Rio de Janeiro (2001-2010). **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 447-459, out./dez. 2013.

OLIVEIRA, J. L.; COSTA, A. A. Estudo de variabilidade do vento em escala sazonal sobre o nordeste brasileiro utilizando o rams: os casos de 1973-1974 e 1982-1983. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 26, n. 1, p. 53-66, mar. 2011.

ORTIZ, G. P.; KAMPEL, M. Potencial De Energia Eolica Offshore Na Margem Do Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Oceanografia, 5., 2010. Santos. **Anais...** São Paulo: USP, 2011. p. 1-4.

PATEL, R. M. **Wind and solar power systems: design, analysis, and operation**. 2. ed. EUA: CRC Press, 2005.

PEREZ, G. M. P.; DIAS, M. A. F. S. Long-term study of the occurrence and time of passage of sea breeze in São Paulo, 1960-2009. **International Journal of Climatology**, EUA, v. 37, n. 1, p. 1210-1220, abr. 2017.

PINTO, A. C.; SANTOS NETO, P. J. Uma revisão do estado da arte sobre a aplicação de aerogeradores de pequeno porte no contexto das redes inteligentes. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v.14, n. 1, p. 103-132, jan. 2012.

PREFEITURA DE PARANAGUÁ (PARANAGUÁ). Novo Mapa – GeoNode. Paranaguá, 2022. Disponível em: [https://geonode.paranagua.pr.gov.br/maps/new?layer=geonode:a\\_031\\_007\\_terreno\\_DeMarinha](https://geonode.paranagua.pr.gov.br/maps/new?layer=geonode:a_031_007_terreno_DeMarinha). Acesso em: 30 ago. 2022.

PROJETO LITORAL NOTA CEM. Ilha do Mel. Paraná, 2022. Disponível em: <http://litoralnotacem.com.br/ilha.html>. Acesso em: 21 ago. 2022.

SARTORI, M. G. B. A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Revista Terra Livre**, São Paulo, v.1, n. 20. p. 27-49, jan./jul. 2003.

SECRETARIA MUNICIPAL DE CULTURA E TURISMO DE PARANAGUÁ (SECULTUR). A Cidade - Secultur. A CIDADE. Paranaguá, 2022. Disponível em: <https://secultur.paranagua.pr.gov.br/a-cidade/>. Acesso em: 18 jul. 2022.

SOBRAL, F. S. B. **Avaliação Do Potencial Eólico Para Geração De Energia Na Zona Rural Do Estado Do Sergipe**. 2009. 161 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão (SE). Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/4301>. Acesso em: 17 jul. 2020.

SPERA, D. A. **Wind Turbine Techenology**: Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering. 2 ed. New York: Amer Society of Mechanical, 2009.

TESUP. Turbina Eólica MAGNUM 5 (fabricada na Europa). 2022a. Disponível em: <https://www.tesup.com.br/product-page/turbina-eolica-magnum5-12v-24v-48v-5kw-Brasil>. Acesso em: 21 ago. 2022.

TESUP. Turbina Eólica MasterX (fabricada na Europa). 2022b. Disponível em: <https://www.tesup.com.br/product-page/turbina-eolica-masterx-para-casa-Brasil>. Acesso em: 21 ago. 2022.

TONG, W. **Wind Power Generation and Wind Turbine Design**. 1 ed. Boston: WIT Press, 2010.